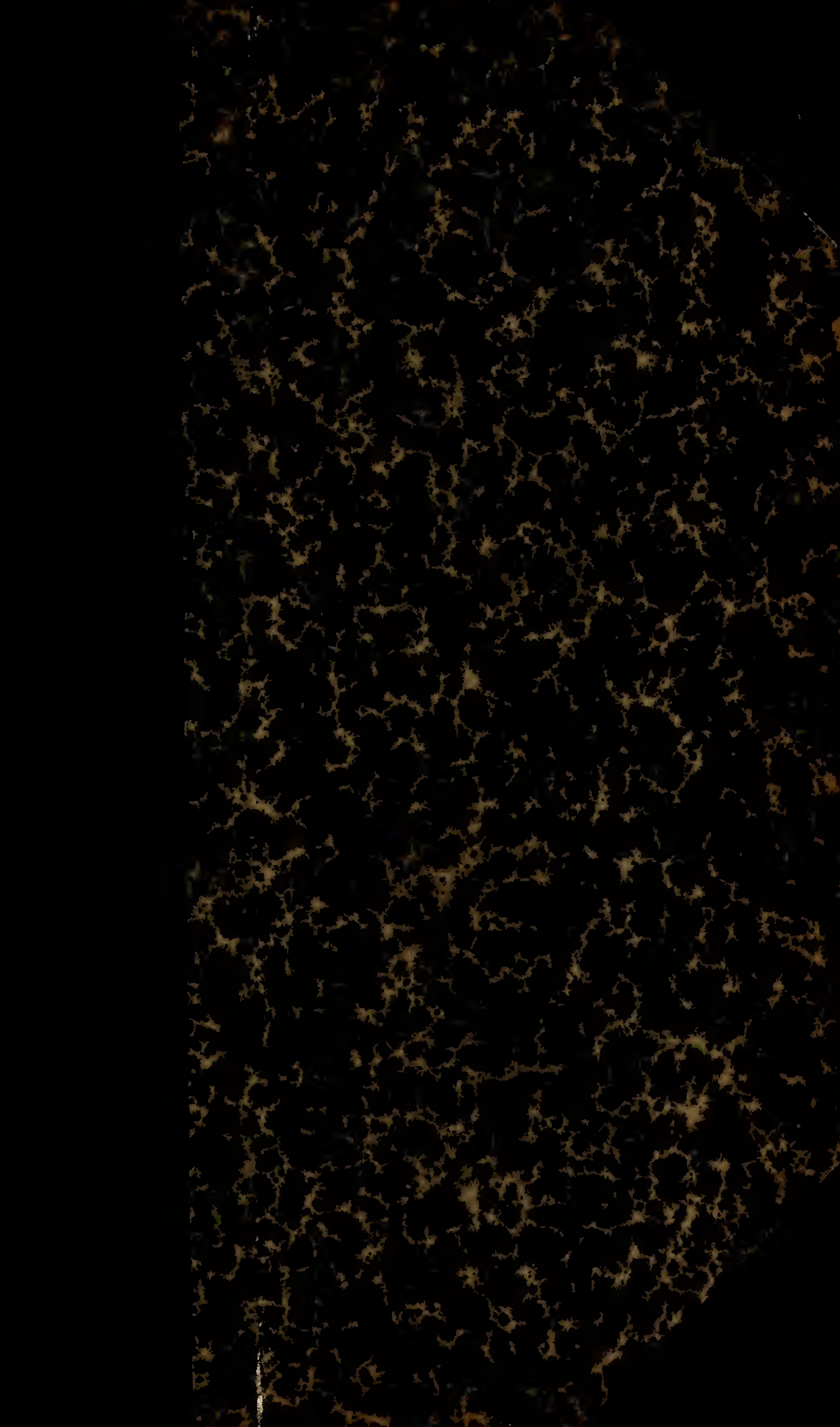
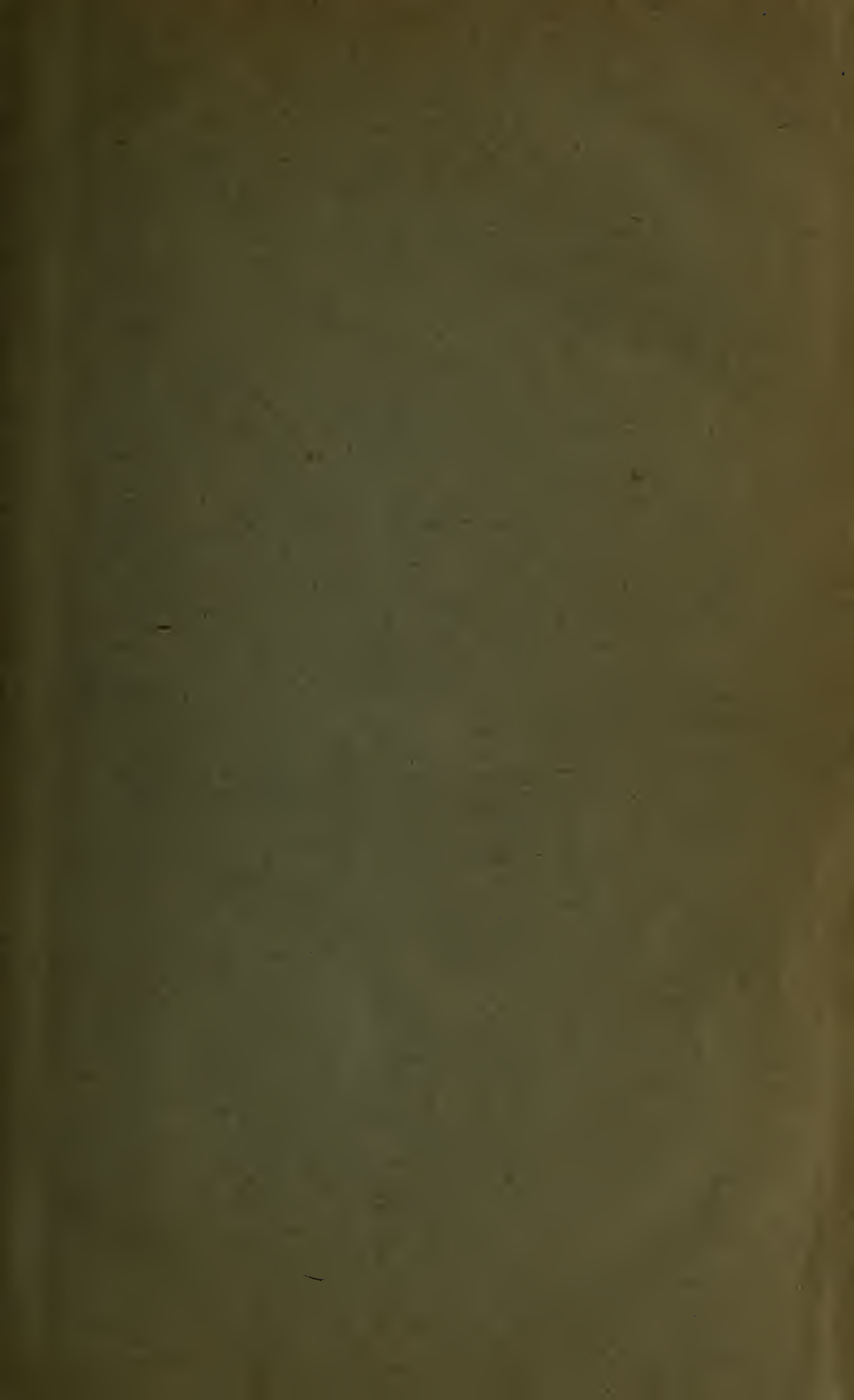
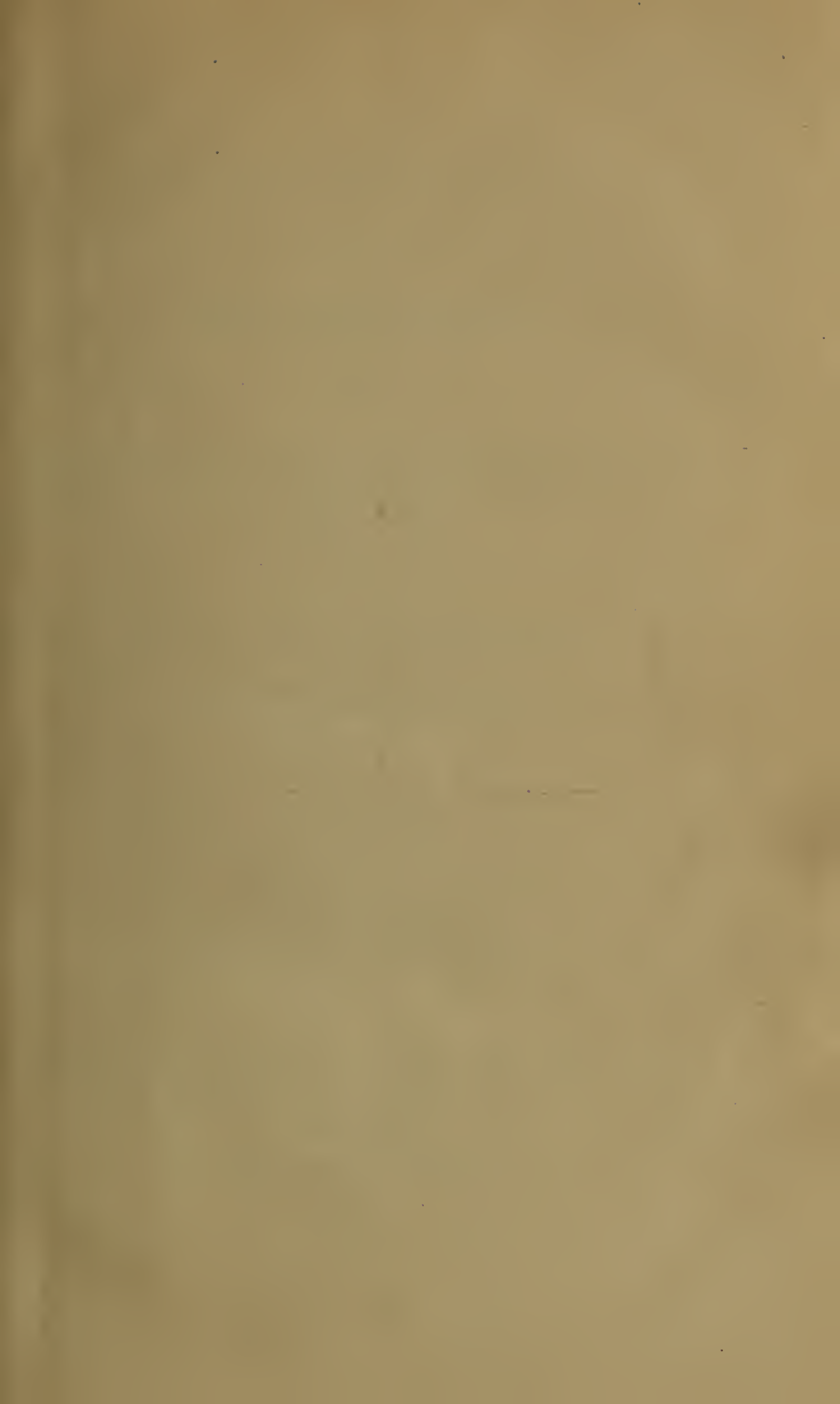












125.

Neue Beiträge
zur
Physiologie
des
Gesichtssinnes

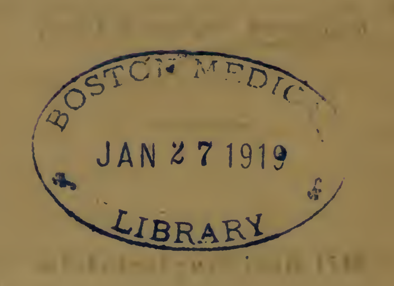
von

Dr. A. W. Volkmann

ausserordentl. Professor in Leipzig.

Mit drei Kupfertafeln.

Leipzig,
bei Breitkopf und Härtel.
1836.


BOSTON MEDIC
JAN 27 1919
LIBRARY

Vorwort.

Als ich im Winter des verflossenen Jahres die Lehre von den Sinnesverrichtungen öffentlich vortrug, wurden mir die widersprechenden Ansichten der Physiologen und Optiker in Bezug der Theorie des Sehens auf das Unangenehmste fühlbar. Nur sehr wenige Theile dieser Lehre können als abgemacht betrachtet werden, in den meisten herrscht Unsicherheit, und nicht selten stehen die achtungswerthesten Autoritäten sich schroff gegenüber. Ich versuchte nun theils durch Experimente, theils durch kritische Vergleichung der verschiedenen Theorien eine eigene Ansicht zu gewinnen, und die Resultate dieser Bestrebungen sind es, welche ich in vorliegendem Büchelchen mittheile. Ob es mir gelungen ist, gewisse Lehren ihrer Entwickelung näher zu bringen, oder ob ich das Unglück gehabt habe, den schwer zu verfolgenden Faden noch mehr zu verwickeln, muss mich die Zukunft lehren, aber so viel halte ich für ausgemacht, dass ein Versuch, die Differenzen aus der Theorie des Sehens zu beseitigen, an sich wünschenswerth und zeitgemäss sei. Ein solcher Versuch schliesst Kritik und Parteinahme unerlässlich ein,

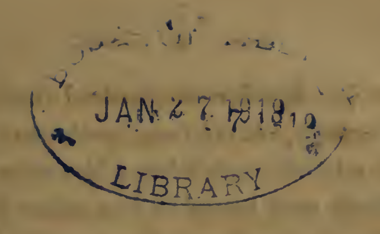
und ich hoffe, die Unvermeidlichkeit der Polemik wird mich entschuldigen, wenn ich hin und wieder selbst Männern entgegen trete, die durch ihre ausgezeichneten Verdienste um die Physiologie sich Ansprüche auf allgemeine Hochachtung erworben haben. In der That steht es um die Lehre vom Gesichtssinne so, dass man keinem ausgezeichneten Physiologen beitreten kann, ohne gleichzeitig einem andern den Fehdehandschuh zu zuwerfen.

Nicht genug beklagen kann ich, dass sehr ungenügende Vorkenntnisse in der Mathematik mich bei dieser Arbeit vielfach gehemmt haben, um so mehr, da meine Beobachtungen mich vorzugsweise auf das Gebiet führten, wo Physiologie und Physik zusammengrenzen. Indem ich hier meine Schwäche offen gestehe, rechne ich auf gütige Nachsicht der Sachkundigen, schmeichle mir aber, dass der empirische Grund, auf welchen ich baute, auch da noch einigen Werth behalten wird, wo meine Folgerungen als unhaltbar sich ausweisen sollten.

In dem zweiten Aufsatze des Anhanges habe ich einige Beobachtungen nachgetragen, welche in mehrere Kapitel, besonders in das 7te und 11te berichtigend eingreifen, und die ich gefällig zu berücksichtigen bitte.

Dezember 1835.

A. W. Volkmann.



Kapitel I.

Anatomische Notizen zum Bau des Sehnerven und der Netzhaut.

Zu den merkwürdigsten Beobachtungen im Felde der neuern Anatomie gehören unstreitig die von Ehrenberg über den feinern Bau der Nerven. Ehrenberg fand *), dass die Hirnfasern abwechselnd anschwellen und wiederum sich verdünnen, und dass die specifischen Nerven der Sinnesorgane aus eben solchen Fasern zusammengesetzt sind, während die Urfasern aller übrigen Nerven ohne Anschwellungen, durchaus fadenförmig verlaufen. Die Netzhaut besteht nach ihm ebenfalls aus varikösen Gefässen, den Fortsetzungen des Sehnerven, die vom Sehnerven abwärts sich immer mehr verdünnen, und vom Glaskörper durch eine dichte Schicht von Kügelchen getrennt werden. Diese Kügelchen, welche bis jetzt als Nervenkügelchen und als der wesentliche Bestandtheil der *retina* betrachtet wurden, gehören nach seiner Ansicht durchaus nicht zum Nervengebilde, sondern sind muthmasslich abgesonderte Blutkügelchen.

Diese Lehren sind für die Physiologie von so hoher Bedeutung und haben unter den Anatomen schon zu so vielen Discussionen Anlass gegeben, dass alle Beobach-

*) Poggendorff's Annalen der Physik und Chem. B. XXVIII. 3tes Stück.

tungen über den gleichen Gegenstand ein zeitgemässes Interesse erregen, und so mag auch das Wenige und Vereinzelte, was ich gesehen habe, hier einen Platz finden. Vorläufig werde noch bemerkt, dass meine Beobachtungen mit Hülfe eines vortrefflichen Instrumentes von Schiek, meistens bei 300 bis 400 facher Linearvergrösserung, angestellt wurden.

Man findet die varikösen Fasern in der Medullarsubstanz der Wirbelthiere mit Leichtigkeit, wenn man sehr kleine Stückchen derselben mit feinen Nadeln zerzupft, oder vielmehr auseinander zieht, bis beide Hälften im Begriff sind, sich zu trennen. Bei diesem Verfahren glückt es nicht selten, die ausserdem undurchsichtige Masse so sehr zu verdünnen, dass man an einzelnen Stellen die Fasern nebeneinander und einzeln liegen sieht. Die angeschwollenen Stellen haben meistens eine ovale Form, selten eine runde oder unregelmässige (z. B. nur nach einer Seite vorspringende), sie übertreffen die Faser um das 2, 3 bis 4 fache an Breite und der Zwischenraum zwischen je zwei Anschwellungen ist von sehr verschiedener Ausdehnung. Die Stärke der Fasern selbst differirt ungefähr wie 1 zu 2 und steht nicht im umgekehrten Verhältniss zur Länge der Dimension zwischen zwei Anschwellungen. Die angegebenen Verschiedenheiten kommen in jedem Gehirn und Rückenmark, auch wohl in sich nahe liegenden Theilen, vor, dagegen habe ich in der Medullarsubstanz der Säugthiere, Vögel, Amphibien und Fische, weder in Bezug auf Form noch Grössen-Verhältnisse auffallende Unterschiede bemerken können.

Der Kontur der einzeln liegenden Fasern wird durch einen scharfen Schatten gezeichnet. Mit diesem dunkeln Kontur parallel verläuft, mehr nach innen, eine zweite,

gewöhnlich etwas blassere Schattenlinie, wodurch die Fasern das Ansehen hohler Röhren gewinnen. Ob aber eine Hölung wirklich vorhanden, wie Ehrenberg und Valentin annehmen, oder ob die Fasern solid sind, wie Krause behauptet, scheint mir noch unentschieden. Mit Recht bemerkt Krause, dass der Anschein von Wandungen an sich nichts beweist, da auch solide Theile, wie Haare, einen doppelten Kontur zeigen. Die von Krause im Innern der Fasern beschriebenen Kügelchen (ich habe nur in einzelnen Fällen und undeutlich ein körniges Wesen wahrgenommen) würden auch nicht ausreichende Beweise einer Hölung seyn, da dichtere Körnchen in mehr durchsichtige Substanz eingestreut, einen ähnlichen Anblick gewähren dürften. Allerdings glaube auch ich ein Paar Mal *lumina* an abgerissenen Faserenden bemerkt zu haben, aber der Umstand, dass unter Hunderten von Fällen dies kaum ein Mal vorkam, ist verdächtig. Schlagend ist Ehrenberg's Beobachtung, wenn sie sich bestätigt, dass bei Druck der Fasern ein Fliessen in ihrem Innern entsteht, doch ist mir diese Erscheinung nie sichtbar geworden.

Die varikösen Fasern scheinen mir in einer Substanz zu liegen, die aus Kügelchen und Klümpchen von sehr verschiedener Grösse und wahrscheinlich auch von verschiedener Konsistenz besteht. Zuweilen scheinen die Fasern, zuweilen die Kügelchen zu präponderiren, letzteres vielleicht nur dann, wenn viele Fasern in Kügelchen zerfallen sind. Dies geschieht nämlich, wenn die Nervenmasse sich der Zersetzung nähert, oder bei der Präparation zu roh behandelt wird. Aber auch in ganz frischer Hirnmasse und bei sorgfältiger Präparation zeigten sich mir jene Kügelchen, so dass ich sie allerdings als histo-

logische Grundlage der Hirnmasse betrachten möchte. Anlangend die Substanz dieser Kügelchen, so scheinen 2 Arten zu unterscheiden zu sein. Die einen sind vollkommen durchsichtig und gewähren das Ansehn holer Blasen, indem nach innen vom Konture und parallel mit diesem noch eine Schattenlinie verläuft. Diese Kügelchen sind schwerlich etwas anders als Oeltropfen. Betrachtet man nämlich befeuchtete Nervensubstanz zwischen zwei Glasplatten unter Anwendung leisen Drucks, so entstehen deutliche Strömungen des Wassers, und von diesen Strömungen werden die Kügelchen zum Theil mit fortgeführt. Geschieht es nun, dass ein solches Wasserströmchen sich zwischen enge stehenden unbeweglichen Nerventheilen hindurch drängt, so verändern die Kügelchen ihre Gestalt auf das Auffallendste, und passen sie vollkommen den Theilen an, durch welche sie hindurch gedrängt werden. Auch glaube ich mich nicht getäuscht zu haben, wenn es mir vorkam, als vereinigten sich bisweilen 2 solcher Kügelchen zu einem grösseren, womit es zusammenhängen mag, dass zwischen Glasplatten sich einzelne Blasen von ganz abnormer Grösse zeigen. Die andre Art von Kügelchen, oder besser Klümpchen, weil die Gestalt nicht ganz regelmässig ist, scheint solid zu seyn, indem sie nicht in dem Grade durchsichtig wie die ersten, sondern mit grauen und schwarzen Punkten (vielleicht überaus kleinen Kügelchen) erfüllt sind.

Was die Grösse der genannten Kügelchen betrifft, so ist sie ausserordentlich verschieden. Die grössten übertreffen die ansehnlichsten Anschwellungen der Fasern wohl um das Doppelte, die kleinsten verlieren sich in unmessbare Kleinheit. Auch aus diesem Grunde kann ich die Kügelchen nicht für zerfallene Fasern betrachten.

Ehrenberg hat angegeben, dass die Nerven der Sinnesorgane die varikösen Fasern mit dem Gehirn gemein haben, während die übrigen Nerven glatte Fasern besitzen. Die Resultate meiner eignen Untersuchungen stimmen hiermit überein, doch besitzt die Zunge keine Nerven mit varikösen Fasern, wenigstens fand ich keine im *lingualis* und *hypoglossus* der Maus, des Hamsters und des Hasens.

Dagegen scheinen die Nerven der übrigen Sinnesorgane dem Baue nach mit der Medullarsubstanz des Gehirns und Rückenmarkes vollständig überein zu kommen. Es finden sich sowohl die varikösen Fasern als die Kügelchen mit den schon angegebenen Eigenthümlichkeiten. Nur im Geruchsnerven des *Cyprinus brama* fand ich keine Kügelchen, sondern nur variköse Fasern, die hier mit besondrer Leichtigkeit verfolgt werden können. Im Gesichtsnerven des Kaninchens und Kalbes fand ich Fasern, die wo nicht ganz, doch in ansehnlichen Strecken der Anschwellungen entbehrten.

Ich gebe in *Fig.* 1 der ersten Kupfertafel eine Abbildung des Sehnerven der Hausmaus bei 410facher Linearvergrösserung. Dieselbe Ansicht kann als Schema für die Struktur der Medullarsubstanz des Hirns und Rückenmarkes gelten.

Fig. 2 *Tab: I.* stellt die primären Nervenfasern eines Wadennerven der Hausmaus dar, wodurch der Unterschied der beiden Arten von Fasern anschaulich wird. Kügelchen oder irgend andre Formelemente scheinen in den Nerven mit glatten Fasern nie vorzukommen.

Die variköse Nervenfaser scheint ungleich zarter und zerstörbarer als die glatte, und wird durch Fäulniss schneller aufgelöst. Einen Nerven mit glatten Fasern

kann man der Länge nach zerreissen, jede Hälfte lässt sich wieder nach dem Lauf der Fasern spalten, und es ist mir gelungen, die Spaltung so weit zu treiben, dass Bündel von nur sehr wenigen und vereinzelten Fasern fast in der ganzen Länge des angewendeten Nervenstückes sich darstellten ohne zu zerreissen. Zuweilen glückt es sogar, ganz einzelne Fasern frei zu legen, deren Länge den Querdurchmesser einige hundert Male und mehr übertrifft. Eine ähnliche Spaltung gelingt mit den Nerventheilen, welche variköse Fasern enthalten, nicht. Sie zerreissen nicht regelmässig nach dem Lauf der Fasern, sondern zerzupfen sich in rundliche Stückchen. Daher kann man auch die varikösen Fasern nicht so leicht einzeln darstellen, und gewöhnlich nur eine kurze Strecke in ihrem Laufe verfolgen. Nur im Geruchsnerven des erwähnten *Cyprinus brama* gelang es mir, die varikösen Fasern mit derselben Leichtigkeit der Länge nach auseinander zu ziehen und einzeln darzustellen, was vielleicht mit dem Mangel aller andern als Fasersubstanz zusammenhing.

Was nun Ehrenberg's Beobachtungen über den Bau der Netzhaut anlangt, so halte ich die Gegenwart der varikösen Fasern in den Augen einiger Thiere für eben so gewiss, als irgend eine mikroskopische Thatsache. So kann nichts deutlicher sein, als der variköse Bau der Fasern in den büschelförmigen Ausbreitungen des Sehnerven im Auge der Hasen und Kaninchen. Eine Abbildung dieser Organisation im Hasen giebt die 3te *Fig. Tab. I.*, aus welcher erhellt, dass auch hier Kügelchen und Klümpchen zwischen den Fasern eingestreut sind. In den erwähnten Büscheln sind die Fasern sehr stark, sie werden aber im Verlauf immer zarter und

dünner, wie die 4te *Fig.* zeigt, und am äussersten Ende der Netzhaut war ich nicht mehr im Stande sie zu erkennen. Mit gleicher Deutlichkeit sah ich die varikösen Fasern bei der Gans, der Sumpfeule und dem Truthahn, innerhalb des weissen Strichs, von welchem aus der Sehnerv in die Netzhaut übergeht. Eine solche Faser aus dem Auge der Gans zeigt *Fig.* 5. Ausserhalb jener weissen Linie vermochte ich einzelne Fasern nicht darzustellen und muss mich daher eines positiven Urtheils enthalten, doch sah ich deutlich grössere und kleinere Kügelchen reihenartig und die Reihen in paralleler Richtung gelagert, ein Anblick, der dem ganz ähnlich ist, welchen die Netzhaut des Hasen bietet, wenn man sie nicht dünn genug ausbreitet, oder zwischen den Glasplatten nicht hinreichend komprimirt.

In dem Auge des Menschen und des Kalbes sah ich ebenfalls jene reihenförmige Anlagerung der Kügelchen, Zerzupfte ich ein Stückchen mit *humor aqueus* befeuchtete Netzhaut, und comprimirte sie zwischen zwei Glasplatten, so entstanden Strömungen, in welchen nicht blos Kügelchen, sondern auch feine, kaum noch messbare, Fasern schwammen. Viele dieser Fasern zeigten beim Kalbe kleine sehr runde Anschwellungen, was die Vermuthung eines varikösen Baues allerdings unterstützt. Indess ist doch zu bemerken, dass ich stets nur Eine Anschwellung an Einem Fasertheilchen und diese immer an einem Ende bemerkte, so dass man auch annehmen könnte, die Netzhaut bestehe hier aus glatten Fasern mit angeschwollenen Enden. Ich bin trotz vielfach wiederholter Untersuchungen nicht so glücklich gewesen, die Sache in's Klare zu bringen.

In der Netzhaut einiger Thiere, des Hamsters, der Maus, der Taube, der Kröte *(Bufo vulgaris)* und ver-

schiedener Fische habe ich gar keine Fasern finden können, was offenbar mit einer zu grossen Weichheit des Organs zusammenhing. Jeder Versuch, die Netzhaut mit Nadeln zu präpariren, wurde durch die fast schleimige Beschaffenheit des Organs vereitelt und bei Compression zwischen Glasplatten floss alles formlos zusammen. Wie weit also der von Ehrenberg entdeckte variköse Bau der Netzhaut sich in der Thierwelt erstrecke, kann ich nach meinen Beobachtungen nicht beurtheilen, doch habe ich nichts gefunden, was die Allgemeinheit jener Anordnung, welche vom Entdecker behauptet wird, positiv widerlegte. Nur im Frosch *(Rana esculenta)* habe ich in einer Untersuchung, an welcher Herr Professor Weber Theil zu nehmen die Gefälligkeit hatte, die Fasern anders gesehn, als Ehrenberg sie beschrieben und abgebildet hat. Die Fasern waren nicht knotig und nicht wasserhell, sondern gleich dick und mehr markig von Ansehn, überdiess ungewöhnlich stark, in einer Messung, die ich anstellte, 0,00030. Ansehnliche Stücke dieser Fasern schwammen in grosser Menge in dem Wasser, womit wir die zerzupften Netzhaut-Stückchen befeuchtet hatten. An den freien Rändern dieser Stückchen sahen wir zwischen den Kügelchen vorspringende Fasern hervortreten. In einem Versuche, wo ich die Netzhaut unter dem Druck eines Glasplättchens betrachtete, sah ich die Fasern von der Gestalt und Dicke, wie ich sie beschrieben, in grosser Menge. Es war wohl Folge der Präparation und des Drucks, dass diese Fasern äusserst geschlängelt, oder vielmehr in grossen Bogen und zurücklaufenden Verschlingungen, sich verbreiteten.

Die varikösen Fasern der Netzhaut liegen unter einer Schicht von Kügelchen, welche Ehrenberg für Blut-

körnchen ansieht. Die Gründe, welche mich abhalten dieser Ansicht beizutreten, sind folgende:

1) Ich finde Valentin's Angabe richtig, dass die erwähnten Kügelchen zuweilen weder der Grösse noch der Form nach mit den Blutkörperchen übereinstimmen, mag man nun diese im Ganzen oder nur in Bezug auf ihre Kerne berücksichtigen. So sind die Nervenkügelchen überall ziemlich regelmässig kuglich, auch wo die Blutkügelchen oval und scheibenförmig sind.

2) Man bemerkt in den Blutgefässen keine Oeffnungen, durch welche Körper, von verhältnissmässig so beträchtlicher Grösse, austreten könnten.

3) Die Kügelchen der innersten Schicht der Netzhaut unterscheiden sich von ähnlichen, zwischen den varikösen Fasern des Hirns und Rückenmarkes liegenden, nur durch die mehr gleichmässige Grösse.

4) Jene Schicht von Kügelchen ist so wenig durchsichtig, dass sie das Sehen ausserordentlich beeinträchtigen würde, wenn sie zwischen das Objekt und die empfindende Membran eingeschoben wäre. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die Kügelchen den empfindenden Theilen selbst angehören.

5) Die Kügelchen hängen der übrigen Netzhaut ziemlich fest an, denn man kann sie weder abwaschen, noch mit einer zarten Borste wegstreichen. Dies bestätigt die Vermuthung, dass diese Körperchen wesentlich zum Gewebe der Netzhaut gehören. Auch scheint es mir nicht, als ob die Kügelchen eine bestimmte Schicht an der innern Seite der Netzhaut ausmachten, denn ich sehe sie vollkommen eben so deutlich, wenn ich die äussre Seite der *retina* unter dem Mikroskop nach oben lege. Es hat vielmehr den Anschein, als verliefen die Fasern überall von

Kügelchen umgeben, nicht anders als in Mitten der Centralorgane.

Valentin bemerkt, dass er nur selten Verzweigungen der varikösen Nervenfasern gesehen habe; mir ist es, trotz aller Aufmerksamkeit auf diesen Umstand, nie gelungen, eine Verästelung zu bemerken. Ich habe an solchen Stellen, wo der Theorie nach Verästelungen zu erwarten wären, namentlich im *chiasma nervorum opticorum* und in der Netzhaut vielfältig nach Verzweigungen der Fasern gesucht, aber immer vergeblich. Da nun die Netzhaut an ihrer Eintrittsstelle nicht merklich dicker ist als an den Stellen ihrer grössten Ausbreitung, so hat es etwas höchst unbegreifliches, wo zuletzt die Fasern herkommen, welche die immer mehr sich ausdehnende *retina* zusammensetzen.

Von den mikrometrischen Messungen die ich angestellt habe, mögen beiläufig ein Paar hier angeführt werden.

Die Breite der varikösen Anschwellungen in den Fasern des Hirnbalkens des Hasen ist im Mittel 0,00026, im Minimum 0,00018, im Maximum 0,00032.

Breite der Nervenfasern desselben Thieres in den Büscheln der Netzhaut: im Mittel 0,00026, im Minimum 0,00015, im Maximum 0,00039.

Breite der varikösen Anschwellungen der letztgenannten Fasern im Mittel 0,00043, im Minimum 0,00035, im Maximum 0,00060.

Breite der Nervenkügelchen an der innersten Schicht der Netzhaut bei demselben Thiere im Minimum 0,00023, im Maximum 0,00027, im Mittel 0,00026.

Bei der Gans fanden sich folgende Verhältnisse:

Fasern aus den Hirnschenkeln zeigten sehr auffallende Verschiedenheiten in Bezug auf die Grösse der varikösen

Anschwellungen. Ihre Breite schwankte zwischen 0,00022″ bis 0,00054″ und betrug im Mittel von 6 Messungen 0,00037″.

Gelegentlich möge hier eine Bildung erwähnt werden, die mir nur in der Gans vorgekommen und die ich noch nicht weiter verfolgt habe. Ich fand variköse Fasern, deren beide Enden unverkennbar vorlagen und Anschwellungen von beträchtlicher Grösse darstellten. Solche Fasern, deren eine ich *Tab. I. Fig.* 6 auf's sorgfältigste abgezeichnet habe, fand ich in zu grosser Anzahl, als dass sie füglich für etwas Zufälliges genommen werden könnten. Immer zeichneten sich diese Fasern vor den übrigen durch Dicke aus.

Die Dicke der Anschwellungen im Sehnerven der Gans schwankte zwischen 0,00024″ und 0,00033″ und betrug im Mittel von 7 Messungen 0,00029″. Die dünnen Stellen derselben Fasern zeigten Unterschiede von 0,00011″ bis 0,00019″ und massen im Mittel 0,00014″. In dem weissen Strich der Netzhaut waren die varikösen Fasern sehr deutlich; ich habe nur 3 Messungen angestellt, nach welchen die angeschwollnen Stellen stärker sein würden, als im Sehnerven selbst.

In *Rana esculenta* zeigten die Anschwellungen der Sehnerv-Fasern eine Differenz von 0,00020″ zu 0,00036″ und waren im Mittel von 7 Messungen 0,00030″ dick. Die nicht angeschwollnen Stellen derselben Nervenfasern zeigten wenig Verschiedenheit und hatten im Mittel einen Durchmesser von 0,00016″. Die Kügelchen der Netzhaut massen im Durchschnitt von 7 Messungen 0,00026″.

Verschiedene Gründe veranlassen mich, die varikösen Fasern der Nervensubstanz als reale histologische Ele-

mente anzusehn, und nicht für Produkte des Zufalls, wie Valentin *) vermuthet und Krause **) behauptet.

Nach den Untersuchungen von Krause besteht die Nervenfaser aus Kügelchen, welche durch eine schleimige Materie verbunden, solide Cylinder von wesentlich gleicher Dicke darstellen. Die variköse Gestalt soll Folge der anatomischen Behandlung sein. Der Schleim, welcher die Kugeln verbindet, soll sich im Wasser stärker zusammenziehen als die Kügelchen, oder auch, es soll durch Ziehen die schleimige Verbindungs-Masse in Fäden ausgezogen werden. Auch unter dem Druck eines Glasplättchens soll die Gestalt der Nervenfaser die Veränderung erleiden, welche sie als knotig erscheinen lässt.

Schon Ehrenberg hat mehrere wichtige Einwürfe gegen diese Behauptungen gemacht, ich erlaube mir noch folgende Erinnerungen hinzu zu fügen.

a) Es ist äusserst unwahrscheinlich, dass 3 verschiedene physische Einflüsse, wie Druck, Zug und fremdartige Feuchtigkeit eine ganz gleiche Wirkung bedingen und aus gleichartigen Fasern variköse, von so übereinstimmenden Formen, hervorbringen sollten.

b) Die oft sehr langen Interstizien zwischen zwei Anschwellungen begünstigen die Ansicht gar nicht, dass die dünne Partie der Faser aus einem Schleim bestehe, welcher für die Nervenkügelchen nur als Bindemittel diene.

c) Dass die dünnen Stellen der Fasern durch Ausdehnung des Schleims entstehen, welcher als Bindemittel zwischen zwei Nervenkügelchen befindlich ist, macht der Umstand unwahrscheinlich, dass in den längsten Intersti-

*) Müllers Archiv für Anat. und Physiol. 1834. S. 407.

**) Poggendorff's Annalen T. XXXI. S. 113.

zien die Fasern oft um nichts dünner sind als in den kürzesten. Denn zu erwarten stünde, dass bei starker Ausdehnung (für welche grosse Distanzen der Kügelchen sprechen würden) die Schleimfaden sich am dünnsten ausziehen müssten.

d) Dass ein vorsichtiger Druck, mit einem leichten Glasplättchen, die Gestalt der feinsten Fasern nicht verändert, kann man sich leicht überzeugen. Wenn man die zu betrachtenden Theile mit einem dünnen Glasplättchen vorsichtig bedeckt, so reicht die blosse Schwere derselben oft noch nicht hin, die Fasern gehörig auseinander zu bringen. Fixirt man jetzt einige Fasern, die deutlich vorliegen, und drückt auf die Deckplatte höchst vorsichtig mit einer Nadel, so kommen in glücklichen Fällen eine Menge neuer Fasern zu Gesichte, ohne dass die vorher schon bemerklichen ihre Form, Dicke u. s. w. irgend verändern. Besonders belehrend ist es, wenn man diesen Versuch anstellt, nachdem man die Nervenmasse mit Wasser befeuchtet hat. Die Fasern kommen bei der leisesten Berührung der Deckplatte in Bewegung, und schwimmen wogend und sich schlängelnd im Wasser, woraus sich ergiebt, dass von Druck hier nicht die Rede ist, und dass die Fasern ihre Gestalt unter mässigen physischen Eingriffen zu behaupten vermögen.

d) Würden die varikösen Fasern durch Drücken, Ziehen oder Einfluss des Wassers gebildet, so würden die glatten Fasern der gewöhnlichen Nerven bei gleicher Behandlung gleiche Anschwellungen zeigen. Auch sah ich dasselbe wenn ich statt Wasser *humor aqueus* anwendete.

e) Die Verschiedenheit des Durchmessers der Fasern an verschiedenen Stellen der Centralorgane und Nerven, welche Verschiedenheit in wiederholten Beobachtungen

constant beobachtet wird, widersteht auf alle Weise der Annahme, dass zufällige Einflüsse und namentlich Druck, Gebilde von so normaler Grösse erzeugen sollten.

Kapitel II.

Von der Sinnenthätigkeit im Allgemeinen.

Bei einer gründlichen Betrachtung der Sinnesfunctionen kann der Physiolog nicht umhin, in das Gebiet der Psychologie hinüber zu streifen und sich über die Thätigkeit der Seele selbst Rechenschaft zu geben. Vor allen aber kann die Lehre vom Sehen auf dem Boden der Empirie allein nicht gedeihen und eine Menge der interessantesten Erscheinungen können nur durch die Untersuchung der Seelenthätigkeit selbst Licht gewinnen.

Obschon ich mir nicht anmasse, in diesem Gebiete Neues begründen zu wollen, so halte ich es doch für unabweislich, den Standpunkt anzugeben, auf welchem ich stehe, damit der Leser von vorn herein klar übersehe, worin wir übereinstimmen können oder nicht. Für diejenigen, welche Tourtuals vortreffliche Schrift über die Sinne kennen, diene die Bemerkung, dass ich in den meisten Punkten von den Grundsätzen dieses Physiologen ausgehe.

Das Verhältniss unsrer Sinne zu den Gegenständen ihrer Wahrnehmung, die Frage nämlich: wie viel unsre Sinnesempfindungen von dem Objectiven oder Subjectiven enthalten, ist von so durchgreifendem Einfluss, dass ohne ihre Beantwortung eine tiefere Einsicht in den Prozess

des Sehens unmöglich ist. Es können hier überhaupt nur 3 Ansichten sich geltend machen.

1) Man nimmt an, die Aussenwelt bestimme den Sinneseindruck, wie das Siegel den Abdruck im Wachs, womit man alle Thätigkeit vom Object ableitet und das Organ als nur leidend annimmt.

2) Man behauptet, das in der Empfindung thätige Sinnesorgan mache die Dinge zu dem was sie scheinen, indem es, nur seinen eignen Zustand wahrnehmend, diesen als Eigenschaft auf ein Aeusseres übertrage.

3) Man vereinigt die beiden vorstehenden Ansichten, indem man annimmt, dass die sinnliche Anschauung aus vereinter Thätigkeit des Objects und Subjects hervorgehe.

Die erste Auffassungsweise, welche die objective genannt werden kann, widerlegt sich am leichtesten, indem eine gewisse Thätigkeit des Sinnesorgans beim Empfinden schon aus der individuellen Verschiedenheit der Empfindungen unwidersprechlich hervorgeht. Denn wenn, um ein auffallendes Beispiel zu wählen, gewisse Personen Grün und Blau oder Grün und Roth nicht unterscheiden können, so kann die Empfindung der Farbe unmöglich der Abdruck eines gegebenen Objectiven sein.

Die zweite Ansicht von den Sinnesverrichtungen, nach welcher diese einen rein subjectiven Charakter haben, kann mit Consequenz nur dann durchgeführt werden, wenn man annimmt, dass auch der Raum eine subjektive Anschauungsform sei, denn wird der Raum als etwas Objectives anerkannt, so drängt sich die Objectivität der geometrischen Anschauungen von selbst auf.

Der Umstand, dass wir alles in der Form des Raums anschauen und anschauen müssen, genügt keines Falls zu beweisen, dass diese Anschauungsform die alleinige Folge

subjectiver Bedingnisse sei. Denn die Nothwendigkeit jener Anschauungsform liesse sich auch durch einen Sieg des Objectiven über das Subjective, oder wenn man lieber will, durch eine prästabilirte Harmonie zwischen beiden erklären. Gleichwohl scheinen alle Beweise für die Subjectivität der Raumvorstellungen nur eben von jener Nothwendigkeit, die Materie als neben einander geordnet zu denken, entlehnt zu werden.

Ich meine, der Zwang den wir empfinden, unsre Raumvorstellungen auf ein Aeussres überzutragen, genüge so lange die Objectivität desselben zu begründen, bis die Grundlosigkeit jenes Zwangs bündig erwiesen ist. Zwar tragen wir überhaupt unsre Empfindungen als Eigenschaften in die Aussenwelt, wir nennen kalt und warm nicht was kalt und warm ist, sondern was uns nach Umständen so scheint, und folgen auch hierin einem innern Zwange, aber dennoch lassen sich diese Fälle mit dem Objectiviren des Raumes nicht vergleichen. Wo immer unsre Sinnlichkeit dem Objecte Qualitäten beimisst, wie kalt oder warm, hart oder weich, hell oder dunkel, so oder anders farbig, da ist die Objectivität der Empfindungen empirisch erweisbar; denn wenn nicht blos der Lichtstrahl, sondern ein leiser Druck auf das Auge, eine Entzündung dieses Organs, Einwirkung des Galvanismus, ja selbst Durchschneiden des Sehnerven, Lichterscheinungen hervorrufen, so wird klar, dass das Licht ein Erzeugniss des gereizten Auges selbst ist, und dass dem objectiven Lichtstoff jede mögliche Qualität zukommen mag, nur die nicht des Leuchtens, die wir aus subjectiven Gründen in das Objektive hineintragen. Es giebt aber keine Erfahrungen die beweisen, dass wir die Formvorstellungen als ein uns Immanantes der Aussenwelt ansinnen. Derselbe

Körper bedingt formell dieselbe Anschauung, mit einer Nothwendigkeit, die unbegreiflich wäre, wenn die Identität der Empfindungen von Identität der subjectiven Thätigkeit ausgehen sollte. In der subjectiven Sphäre der Sinnlichkeit macht überall die Individualität ihre Rechte geltend, und wo der Einfluss dieser wegfällt, scheint objective Begründung der Anschauungen mit Nothwendigkeit vorauszusetzen.

Nach dem Vorbemerkten bin ich genöthigt, mich der dritten Betrachtungsweise anzuschliessen, und die Anschauungen als der gemeinsamen Thätigkeit des Subjectes und Objectes zugehörig anzuerkennen.

Obschon diese Betrachtungsweise in der heutigen Physiologie die herrschende ist, so hat man sich doch über die Grenzen der subjectiven und objectiven Thätigkeit nie recht verständigen können. Dieser Zwiespalt zeigt sich namentlich bei der Behandlung der Grössenempfindungen und des Aussersichsetzens der Objecte; physiologische Fragen, die wiederum in viele einzelne Kapitel der Sinnenlehre modifizirend eingreifen und eine besondre Betrachtung nöthig machen.

Ich wiederhole, dass dieses Kapitel nur Auseinandersetzungen, nicht Beweisführungen bezweckte.

Kapitel III.

Ueber das nach aussen Setzen der Gesichtsobjecte und über das Wahrnehmen der Entfernung.

Obschon wir beim Sehen nicht das Ding selbst, sondern nur sein Bild auf der Netzhaut empfinden, so wissen

wir doch, dass das Ding ein Aeusseres sei. Der Grund dieses Wissens ist räthselhaft und liegt nach Joh. Müller gar nicht in der Sphäre der Sinnlichkeit.

Nach Müller kann das empfindende Organ gar nichts anders empfinden, als sich selbst, nämlich die Reaction, die es nach eingebornen Gesetzen dem Reiz der Aussenwelt entgegenstellt. Mag ein von Aussen eindringender Sonnenstrahl, oder eine innere Entzündung die Lichterscheinung bedingen, immer empfindet das Organ nur sich selbst, in der immanenten Energie des Lichten, und es liegt nicht im Bereich der Sinnlichkeit, beide Fälle zu sondern und die objective Unterlage des einen, im Gegensatz zur subjectiven des andern wahrzunehmen. Das Setzen des Empfundenen in die Aussenwelt ist Sache des Geistes, und während die Sinnenthätigkeit uns angeboren ist, so wird die Fähigkeit, das Empfundene nach Aussen zu setzen, oder, was dasselbe sagen will, unser Ich vom Nichtich zu scheiden, erst durch Erziehung gewonnen *).

Schon Tourtual hat gegen diese Theorie Bedenken erhoben, deren Tendenz wir billigen, ohne ihre Ausführung in allen Einzelheiten vertreten zu wollen.

Zuvörderst leugnen wir, dass in der aufgestellten Frage eine Trennung des Sinnes vom Geiste zulässig sei, denn die Sinnesthätigkeit wird durch das Leben des Geistes erst gesetzt. Auch die rein subjective Empfindung ist ohne Mitwirkung des Geistes nicht gedenkbar und sein Eingreifen in das Objectvieren der Empfindungen kann

*) Joh. Müller, zur vergleichenden Physiol. des Gesichtssinnes. Leipzig 1826 S. 39 u. f.

darum kein Grund sein, eben dieses aus der Reihe der sinnlichen Thätigkeiten zu verweisen.

Ferner kann man zugeben, dass die Empfindung von der Perception eines dem Sinnesorgane innerlichen Zustandes ausgehe, und doch annehmen, dass die Empfindung das Gefühl der Abhängigkeit dieses innern Zustandes von einem Aeussern als nothwendig mit einschliesse. Müller sagt, wenn ein Mensch, ohne jemals gesehen und gehört zu haben, mit der Ausbildung des Gefühls anfinge, so sei durchaus kein Grund abzusehen, warum die tastende Hand etwas anders als ihre affizirte Leiblichkeit, warum sie noch ein Etwas ausser sich empfinden solle. Dies ist richtig, indess handelt es sich zuvörderst nicht um Erkenntniss des Grundes, sondern um Feststellung der Erscheinung.

Beachten wir die Erfahrung, so ist von Wichtigkeit das Benehmen solcher Personen zu berücksichtigen, die von Kindheit an blind und aller Gesichtsvorstellungen verlustig, erst spät durch Operation den Gebrauch der Augen gewonnen haben. Es wird erzählt, dass diese Operirten eine Gegend wie eine Tafel vor sich ausgebreitet glaubten, dass sie nach entfernten Dingen griffen und so eine Menge Verstösse gegen Erfahrungskenntnisse machten, aber nirgends wird erzählt, dass sie nach den Augen griffen, um sich mit dem bereits ausgebildeten Organ über den vermeintlichen Zustand des neu erhaltenen zu belehren. Operirte mussten lernen, dass das, was sie sahen, die ihrem Getaste wohlbekannten Gegenstände wären, aber sie brauchten nicht erst zu lernen, ihre affizirte Netzhaut von dem affizirenden Dinge künstlich zu sondern; es kam unsers Wissens keinem bei, die Empfin-

dung des Lichtes für einen innern Zustand zu nehmen, wie etwa Schmerz oder Hunger.

Auch das Benehmen neugeborner Thiere giebt deutliche Beweise, dass gleich die erste Sinnenthätigkeit die Erkenntniss der Aussenwelt als eines Aeusserlichen mit einschliesst. In der That, wie könnte der Instinkt des Saugens das Neugeborne zum Suchen der Mutterbrust veranlassen, wenn das Netzhautbildchen, in dem sie sich darstellt, von dem jungen Thiere als immanenter Zustand empfunden würde; wie könnte das so eben aus dem Eie gekrochene Hühnchen dem Mutterthiere nachlaufen, und vor einem Feinde fliehen, wenn es der Erkenntniss eines Aeussern, im Gegensatz zum Innern, entbehrte? Offenbar wäre der Instinkt mit der Sinnlichkeit im Widerspruch, wenn jener das Thierchen lehrte, durch Ortsbewegung sich der Mutter zu nähern, während diese aussagte, dass die Gesichtserscheinung, oder der Ton der lockenden Alten, nichts anders sei, als ein innerer Zustand, gleichsam ein Schmerz oder Kitzel des eignen Auges oder Ohres.

Der Grund, warum wir zwischen den Affectionen unterscheiden, und die einen auf den Zustand unsers Innern, die anderen auf die Beschaffenheit eines Aeussern beziehen, ist dunkel in seinem Ursprunge, nicht aber in seinem Endzweck. Es galt den Widerstreit zu vermeiden, der zwischen der primitiven Empfindung und der empirisch geläuterten Anschauung nothwendig entstanden wäre, wenn die Relation der einen, auf das Ich, in die Relation der andern, auf das Nichtich, verwandelt werden sollte. Schwerlich konnte die Erziehung eine solche Verwandlung vermitteln, denn die Empfindung des eignen Zustandes ist im Bewusstsein begründet und keine Kombination von

Erfahrungen ist im Stande die Stimme des Bewusstseins zu verdächtigen.

Die gewonnene Erfahrung kann die Deutung der Empfindung modifiziren, dagegen die Empfindung selbst unmöglich umstimmen. Wenn man bei geschlossnen Augen, mit kreuzweis gelegten Fingern, eine Flintenkugel betastet, so glaubt man zwei Kugeln vor sich zu haben. Oeffnet man die Augen, so giebt sich der Irrthum zu erkennen, das Gefühl der doppelten Kugel aber bleibt, trotz des bessern Wissens. Wir können den Einwurf nicht gelten lassen, dass es sich nicht um eine Vernichtung des Gefühls durch die Erziehung, sondern nur um eine Veränderung seiner Relation auf ein Aeusseres statt auf ein Inneres handle. In der Empfindung ist das Empfinden und das Empfundene zu einer Einheit verbunden, beide sind durchaus untrennbar, und das Bewusstsein, welches uns von dem Act des Empfindens benachrichtigt, schliesst die Natur des Empfundenen (ob ein Aeusseres oder Inneres) gleichzeitig mit ein.

Wir nehmen daher an, dass der Sinn selbst die Fähigkeit habe, die Gegenstände seiner Wahrnehmung nach Aussen zu setzen, dessgleichen, dass er diese Fähigkeit von Geburt an besitze, nicht erst durch Uebung gewinne. Wir halten nach dem Vorausgeschickten diese Annahme für empirisch und teleologisch gerechtfertigt, ohne zu verkennen, dass es dem Causalverhältniss nach räthselhaft ist, warum die, allen Empfindungen zu Grunde liegende, Sinnesenergie in dem einen Falle als Zustand unsers Ichs, in dem andern als Eigenschaft des Objects sich geltend macht.

Eine Frage, welche sich an die vorhergehende Untersuchung natürlich anschliesst, ist die, ob der Gesichts-

sinn, welcher das Aussenliegen der Objecte wahrnimmt, auch ihre respective Entfernung empfindet, und somit einer stereometrischen Anschauung der Körperwelt fähig ist. Nach unsrer Ansicht wird die Entfernung nicht empfunden sondern geschätzt. Die Schätzung kann auf Gesichtsempfindungen fussen, ist aber mehr als blose Empfindung, nämlich Urtheil. Wir leugnen daher, dass von stereometrischen Anschauungen die Rede sein könne, und berufen uns auf folgende Gründe:

1) Der Sinn, obschon durch Uebung der Verfeinerung fähig, bedarf doch keiner Uebung und keines Raisonnements zum Wahrnehmen selbst. Zum erstenmal geöffnet, empfindet das Auge nicht nur Licht und Dunkel, sondern auch die verschiedenen Töne der Farben. Es empfindet alles dieses mit Nothwendigkeit und der Verstand hat auf die Art und Weise der Empfindung nicht den mindesten Einfluss. Alle Momente aber, welche zur Bestimmung der Ferne beitragen, bedürfen nicht nur vorausgegangener Erfahrungen, sondern werden auch modifizirt durch eine mehr oder minder verständige Benutzung derselben. Die verschiedene Kraft des Lichtes z. B. und die wechselnden Töne der Farben werden allerdings vom Auge wahrgenommen, allein die Kenntniss, dass entferntes Licht an Kraft abnimmt, und dass entfernte Farben bleichen und in's Blaue hinüber spielen, ist dem Auge nicht angeboren. Ueber diese Verhältnisse, und darüber, dass nicht blos die Form, sondern auch zwischenliegender Duft, Licht und Farben modifizirt, müssen erst Erfahrungen gesammelt und bei Beurtheilung des vorkommenden Falles verständig benutzt werden. In demselben Maasse, als das Urtheil über den Werth der einwirkenden Umstände (die Dichtigkeit der Luft u. s. w.) sich ändert, schwankt auch

die Vorstellung von der Ferne. So irren sich, wie ich vielfältig beobachtet habe, die in Italien reisenden Deutschen, nicht aber die Eingebornen, unaufhörlich über die Entfernung von Gegenständen im Freien. Denn da in der reinen Luft des Himmels ein Haus in 5 Meilen Entfernung eben so deutlich erscheint, als im Norden bei kaum eben so viel Stunden, so halten wir es für so viel näher, wobei wir natürlich nicht anders empfinden, sondern anders urtheilen als der Italiäner.

2) Bei operirten Staarblinden hat man direkte Erfahrungen, dass sie unfähig waren, den Grad der Ferne zu unterscheiden, indem das ganze Gesichtsfeld wie auf eine flache Tafel gemalt vor ihnen lag *).

3) Dass das Setzen der Gesichtserscheinung in die Aussenwelt nicht etwa ein Setzen in bestimmte Fernen mit sich bringe, beweisen die Blendungsbilder. Auch diese setzt das Auge nach Aussen, wir empfinden sie deutlich als vor uns schwebend, ob aber nah oder fern ist in der Empfindung nicht mit enthalten. Wie dem geübten Auge die Blendungsbilder, mögen dem Ungeübten die wahren Bilder vorschweben, weder fern, noch nah, und doch nach aussen.

*) Einen Fall der Art beobachtete neuerlich wieder Neill, Lond. med. et surg. Journ. June 1835, mitgetheilt in Frorieps Notizen, Juli 1835 nr. 970.

Kapitel IV.

Untersuchungen über den Stand des Netzhautbildchens.

Die Lehre vom Gesichtswinkel hat mich überzeugt, dass die Physiker über die Stelle, welche das Bildchen auf der Netzhaut einnimmt, nicht einig sind. Man erklärt sich nämlich offenbar über die Stellung dieses Bildchens, wenn man den Punkt angiebt, in welchem die beiden geraden Linien sich schneiden, deren Kreuzung den Gesichtswinkel hervorbringt.

Smith *) hat die Vorsicht gebraucht, sich über die Kreuzungsstelle nicht zu erklären, lässt aber in der 47ten *Fig. Tab. V.*, welche zur Erläuterung der Frage dient, die Kreuzung in der Gegend der Pupille geschehen.

Muncke **) legt den Kreuzungspunkt in die Mitte der Krystallinse und lässt ihn durch Lichtstrahlen gebildet werden, die ungebrochen bleiben sollen.

Neumann ***) setzt den Kreuzungspunkt in die Mitte der Pupille.

Die Physiologen haben sich meistens begnügt, die Angabe der Physiker zu wiederholen, doch haben Einzelne selbstständige Theorien aufgestellt.

Treviranus †) lässt die Stellung des Bildchens abhängen von dem Achsenstrahle des Lichtkegels, d. h. von dem Strahle, welcher die Augenachse an dem vorder-

*) Vollständiger Lehrbegriff der Optik, bearbeitet nach dem Englischen von Kästner, p. 26.

**) Gehler's physik. Wörterbuch. Art. Gesicht. p. 1434.

***) Lehrbuch der Physik T. II. p. 224.

†) Beiträge zur Anat. und Physiol. der Sinneswerkzeuge 1828. Cap. 1.

sten Punkte der Hornhaut schneidet. Hieraus dürfte zu folgern sein, dass alle diejenigen Objecte an derselben Stelle der Netzhaut ihr Bild formirten und in der Erscheinung sich deckten, deren Lage bestimmt würde, durch eine gerade Linie, welche auf den Achsenpunkt der Hornhaut auffiele. Auch heisst es in den Beiträgen S. 10: Mehrere der verlängerten Augenachse sehr nahe (?) liegende Punkte, die einerlei Achsenstrahl haben, werden in einerlei Richtung gesehen und decken einander.

Bartels *) lässt diejenigen Objecte sich decken und ihr Bild auf einem Punkte der Netzhaut entstehen, welche in einer geraden Linie liegen, die normal auf der Hornhaut steht und das Centrum der Hornhautkrümmung schneidet.

So ausserordentlich abweichende Ansichten kann nur die Unsicherheit der Erfahrungssätze erklären, von welchen die Berechnung ausging. Genaue Kenntniss der Gestalt und Dichtigkeit der brechenden Mittel des Auges wurde erfordert, um den Gang der Lichtstrahlen zu berechnen; indess liegt am Tage, dass vollständige Genauigkeit in dieser Erkenntniss nah an's Unmögliche grenzt. Es schien mir äusserst wichtig, die Stellung des Netzhautbildes auf einem Wege zu suchen, wo man sich jener Vorkenntnisse ganz entrathen könnte: die nachstehenden Versuche sind nach diesem Princip ausgedacht worden.

Ich benutzte die Augen weisser Kaninchen, (bei welchen bekanntlich der Mangel des schwarzen Pigmentes gestattet, die Netzhautbilder durch die dünne *sclerotica*

---

*) Beiträge zur Physiol. des Gesichtssinnes. 1834. p. 61 u. s. w.

hindurch zu sehen), um mich über den Stand des Bildchens im Verhältniss zum Object zu belehren.

Versuch 1. Auf einer horizontalen Tafel zog ich durch einen Punkt c (*Tab. II. Fig.* 1) mehrere gerade, sich kreuzende Linien, a a′, b b′, d d′, e e′, f f′. Auf den Punkt c setzte ich ein rein präparirtes Kaninchen-Auge, A U G, so, dass die Augenachse mit der Linie d d′ zusammenfiel. Stand nun U, als vorderster Punkt der Hornhaut, in einer gewissen Entfernung von c, so ergab sich, dass Objecte bei a, b, d, e, f, ihre Bilder bei a″, b″, d″, e″, f″ formirten. Den Versuch stellte ich so an, dass ich das Zimmer verfinsterte, bei a b d e f angezündete Lichter, bei a′ b′ d′ e′ f′ aber feine Visiere anbrachte. Visierte ich von a′ nach a, so theilte das Visier eben so wohl das Netzhautbildchen bei a″, als die Lichtflamme bei a. Die Netzhautbilder sämmtlicher Lichtflammen lagen in geraden Linien, welche sich in einem Punkte c des Auges kreuzten.

Versuch 2. Auf einem Diopterlineal (*Tab. II. Fig.* 2.) war eine drehbare graduirte Scheibe S angebracht. In einer geraden Linie, welche den Drehpunkt der Scheibe schnitt, befand sich ein Diopter D, ein Haarvisier V, und ein angezündetes Licht L. Auf dem Drehpunkt der Scheibe wurde das Auge eines weissen Kaninchens nach denselben Grundsätzen angebracht, wie auf der Tafel im vorigen Versuche. War es gelungen das Auge in die rechte Lage zu bringen, so fand es sich beim Drehen der Scheibe: dass in allen Fällen Lichtflamme und Netzhautbildchen in einer geraden Linie blieben, welche, dem angewendeten Mechanismus gemäss, den Rotationspunkt der Scheibe und des Auges schneiden musste.

Es war bei dem Versuch völlig gleichgültig, welche

Seite des Auges nach oben lag, ob die der Natur nach obere, oder die äussere, woraus sich ergiebt, dass gerade Linien, welche von den Netzhautbildchen nach den Objecten gezogen werden, mögen diese rechts oder links, oben oder unten liegen, in Einem Punkte des Auges sich schneiden. Wir werden diese geraden Linien Richtungsstrahlen nennen, weil ein in dieser Richtung auf's Auge fallender Lichtstrahl die Richtung aller übrigen desselben Lichtkegels bestimmt, die Richtung nämlich, welche sie nehmen müssen, um im *focus* des Netzhautbildchens zusammenzutreffen. Es bedarf kaum der Erwähnung, dass es einen Lichtstrahl, der in dieser Richtung durch's Auge ginge, in der Wirklichkeit nicht giebt.

Versuch 3. Wenn ich den vorhergehenden Versuch so modifizirte, dass ich auf der geraden Linie zwischen dem Visier und dem Lichte (*Tab. II. Fig.* 2.) noch eine 2te Lichtflamme vor dem Auge aufsteckte, so gaben beide Flammen auf der Netzhaut ein einziges Bild. Drehte ich die Scheibe, so blieb stets das Bild einfach *). Diejenigen Objecte, welche in gleichem Richtungsstrahle liegen, erzeugen Ein Netzhautbild und müssen in der Erscheinung sich decken.

Versuch 4. Stellte ich zwei Lichter in eine gerade Linie, welche den Achsenpunkt der Hornhaut schnitt (Achsenstrahl von Treviranus), so zeigten sich 2 Netzhautbildchen. Eine derartige Linie bestimmt also die Lage des Netzhautbildchens nicht wie die von uns bezeichnete Richtungslinie, die allen in ihrer Bahn liegenden leuch-

*) Es lag das kleine Bildchen der fernern Flamme in dem grössern Bildchen der näheren.

tenden Punkten denselben Standpunkt auf der Netzhaut anweist.

Versuch 5. Hatte ich in Versuch 3 das Auge noch nicht in die rechte Lage gebracht, und drehte es statt um den Kreuzungspunkt der Richtungstrahlen, um einen andern Punkt, so zerfiel das anfangs einfache Netzhautbildchen alsbald in zwei, welche mit zunehmender Drehung immer weiter auseinander traten. Je weiter der Punkt, um welchen ich das Auge drehte, vom Kreuzungspunkt der Richtungstrahlen entfernt war, um so auffälliger wurde das Auseinandertreten der Bilder. Es können also zwei Objecte nur in dem Falle ihre Bilder auf ein und derselben Stelle der Netzhaut entwerfen, wenn sie in solchen geraden Linien liegen, welche wir Richtungsstrahlen nannten.

Versuch 6. Wenn ich die Scheibe in Versuch 3 um 90° drehte, und folglich das Licht in einem grösseren Seitenwinkel als 90° auf die Hornhaut fiel, so lag demohngeachtet das Flammenbildchen in einer geraden Linie mit dem Rotationspunkte des Auges und dem Objecte.

Versuch 7. Das Kaninchenauge, mit welchem ich experimentirt hatte, war $7\frac{1}{2}$ Linien lang in der Richtung der Augenachse, und 8''' breit im Querdurchmesser. Indem ich nun den Versuch auf der Drehscheibe wiederholte, markierte ich denjenigen Punkt, der bei allen Versuchen in der Visierlinie stand, mit Tinte. Hierdurch wurde ich in den Stand gesetzt, die Lage des Kreuzungspunktes der Richtungsstrahlen zu bestimmen. Seine Entfernung vom vordersten Punkte der Hornhaut betrug $3\frac{1}{4}$''', vom hintersten Punkte der weissen Augenhaut $4\frac{1}{4}$ Linien. Hieraus lässt sich schliessen, dass er noch hinter die Linse und nah an das Centrum des Auges fällt.

Versuch 8. Ich zog auf eine horizontale Tafel

die gerade Linie a b *(Tab. II. Fig. 3)* normal auf die Linie f g. Bei f b und g steckte ich in gleichen Zwischenräumen Nadeln ein, dann fixirte ich mit einem Auge von a aus b, und verdeckte, während des Fixirens, die Nadeln f b g durch vorgesteckte Nadeln, bei h i k. Es ist nun

$$\begin{array}{l} fb = bg \text{ (gemacht)} \\ \angle l = \angle m \text{ (90° gemacht)} \\ \angle n = \angle o \text{ (beim Messen gefunden)} \\ \hline \triangle fcb = \triangle bcg. \end{array}$$

Demnach ist c beiden Dreiecken gemeinschaftlich und derjenige Punkt, in welchem die Sehstrahlen *) g′ g, b′ b, und f′ f sich kreuzen. Ich verzeichnete hierauf eine Linie b q so, dass sie die Linie g g′ rechtwinklich schnitt. Bei p und q wurden Nadeln angebracht und während ich i fixirte, wurde q durch die vorgesteckte Nadel r verdeckt. Es war nun

$$\begin{array}{l} bp = pq \text{ (gemacht)} \\ \angle bpc = \angle qpc \text{ (90° gemacht)} \\ \angle cbp = \angle cqp \text{ (gefunden)} \\ \hline \triangle bpc = \triangle qpc. \end{array}$$

Es war demnach c gemeinschaftlicher Kreuzungspunkt der Sehstrahlen q′ q, g′ p und b′ b, ferner da gleichzeitig mit r q, auch k g, i b, h f sich deckten, für welche c

---

*) Sehstrahlen nenne ich immaginäre gerade Linien, vom Netzhautbildchen nach der Gesichtserscheinung gezogen, durch welche die Richtung des Sehens bestimmt wird. Da 2 Körper natürlich nur dann sich decken können, wenn sie in einem Sehstrahl liegen, so beweisen die in vorstehendem Versuche sich deckenden Nadeln, dass g′ g, b′ b, f′ f wirklich die Sehstrahlen sind.

als Kreuzungspunkt schon erwiesen worden, so ist c gemeinschaftlicher Kreuzungspunkt aller Sehstrahlen *).

Versuch 9. Um den Kreuzungspunkt der Sehstrahlen des menschlichen Auges zu finden, stellte ich folgenden Versuch an:

Ein Lineal A B C D *(Tab. II. Fig. 4)* wurde mit dem Rande A D in horizontaler Lage fest an den Backenknochen angesetzt, und bei a wurde der Punkt bemerkt, über welchem senkrecht der vorderste Punkt der Hornhaut stand. Dann wurde auf das Lineal eine gerade Linie a b d aufgetragen, als Verlängerung der Augenachse x a. Auf der Linie a b d standen normal die beiden Linien e d und f b. An den Punkten b d f e wurden Haarvisiere angebracht. Wenn ich d fixirte, so wurde es durch b verdeckt, und gleichzeitig e durch f. Die Linien x a b d und g f e bezeichnen also zwei Sehstrahlen, welche sich in dem Punkte c kreuzen. Die Aufgabe ist: wie weit liegt der Kreuzungspunkt c von dem vordersten Punkte der Hornhaut a.

b d bekannt durch Messung
d e bekannt durch Messung
$\angle bde = 90^\circ$ gemacht.

$\triangle bde$ ist bekannt.

b f bekannt durch Messung
b e trigonometrisch bestimmt durch $\triangle bde$
$\angle ebf = 90^\circ - \angle dbe$

$\triangle ebf$ ist bekannt.

**) Dass alle Sehstrahlen sich in einem Punkte kreuzen, bestätiget Cap. V.

$\angle def = \angle deb + \angle bef$
de bekannt durch Messung
$\angle bde = 90°$ gemacht

$\triangle cde$ bekannt, folglich c a b d bekannt.

a b d, bekannt durch Messung, abgezogen von c a b d, bekannt durch trigonometrische Berechnung, giebt die Grösse c a, welches die Entfernung des Kreuzungspunktes der Sehstrahlen von dem Punkte der Hornhaut ist, welchen die Sehachse schneidet.

Da vorstehende Rechnung nur dann ein sicheres Resultat geben kann, wenn die Grössen der gegebenen Linien und Winkel auf das genaueste bestimmt sind, so habe ich mir ein besonderes Instrument bauen lassen, welches der rühmlichst bekannte Mechanikus Hoffmann in Leipzig mit gewohnter Genauigkeit ausgeführt hat. Dieses Instrument, welches Gesichtswinkelmesser heissen könnte, besteht aus folgenden:

Ein Bretchen A B C D wurde bei A mit einem Ausschnitt versehen, in welchen genau die Nase passte. Dieses Bretchen setzte ich unter dem Auge in horizontaler Lage fest an, liess einen Punkt b bezeichnen, den ich fixirte und einen Punkt d, welcher durch b verdeckt wurde. Dadurch wurde es möglich, auf dem Instrumente eine Linie d b a zu verzeichnen, welche der verlängerten Sehachse entsprach. Bei b wurde ein Haarvisier angebracht, dessen Entfernung von a 6 Zoll betrug. Bei l war ein Diopter mit einem äusserst feinen Sehloch angebracht. Setzte ich das Instrument sorgfältig an, so sah das Auge, von a aus, das Haar des Visieres b, in der Mitte des Diopterloches l schwebend. Ein zweites Haarvisier war an dem Punkte c befestigt, einen Zoll weit von b ent-

fernt, und mit der Linie a b einen Winkel von 90° bildend. Dieses zweite Visier c stand auf einer festen Scheibe, um welche sich ein Ring s s, in horizontaler Richtung drehte. An diesem drehbaren Ring ist ein Diopterlineal r r befestigt, welches bei m einen sehr feinen Diopter trägt. Das drehbare Lineal lässt sich demnach so stellen, dass das Auge, von a aus, gleichzeitig das Visier b durch das Diopterloch l, und das Visier c durch den Diopter m sieht. Stehen die Haare der Visiere genau in der Mitte der Diopterlöcher, so geben die Visier-Linien die Sehstrahlen. Bekannt ist nun der ∠ a b c nämlich = 90° gemacht, bekannt ist die Entfernung b c, = 1 Zoll gemacht, und es kommt nur noch darauf an, den Winkel bei c zu kennen. Diesen Winkel misst nun das Diopterlineal auf einer Gradeintheilung u u. Am Lineal selbst ist der Nonius t t angebracht, auf die Weise eingetheilt, dass 10 Abschnitte an ihm 9 halben Graden auf u u entsprechen. Es sind also bei Ausmessung des Winkels b c a Differenzen von 3 Minuten merkbar. Aus dem Gegebenen lässt sich nun die Entfernung des betrachteten Visiers b vom Kreuzungspunkt der Sehstrahlen berechnen, (s. Vers. 9) und um die Lage dieses Punktes im Auge zu bestimmen, kam es nur darauf an, die Entfernung des Objectes vom vordersten Punkte des Auges, von jener ersten Entfernung zu subtrahiren. Der Abstand des Visieres b vom Auge wurde mittelst eines feinen Maassstabes v erkannt, der zwischen a und l bei v angebracht war. Wenn man nämlich das Instrument mit dem Rande A D, unterhalb des untern Augenliedes fest andrückt, so schwebt der vorderste Punkt der Hornhaut nicht über dem Punkte a, welcher 6 Zoll von b entfernt ist, sondern über einem Punkte zwischen a und l. Daher wurde bei

jedem Versuche ein Assistent so gestellt, dass er, von D aus visierend, bestimmen konnte, über welcher Linie des Maassstabes v der vorderste Punkt der Hornhaut seine Stellung hatte.

Mit Hülfe des gedachten Instrumentes ergab sich nun die Entfernung des Kreuzungspunktes der Sehstrahlen von dem vordersten Punkte der Hornhaut

1) In meinem Auge	0,472	Zoll.
2) In dem Auge eines erwachsenen Mannes H. H.	0,422	—
3) In dem Auge eines 14jährigen Mädchens E. H.	0,472	—
4) In dem Auge einer erwachsenen Frau A. V.	0,522	—
5) In dem Auge eines Mannes Jt. . .	0,422	—
6) " " " " " N. N. .	0,422	—
7) " " " " " Th. . .	0,472	—
8) " " " " " Wr. . .	0,522	—
Mittel aus den vorstehenden 8 Beobachtungen *)	0,466″	

Wenn nun nach Treviranus der hinterste Punkt der Linse vom vordersten der Hornhaut im Mittel verschiedener Beobachtungen 0,297″ entfernt ist, so würde der Kreuzungspunkt der Sehstrahlen ungefähr $\frac{1}{6}$ Zoll hinter die Linse fallen.

*) Die Uebereinstimmung der Decimalen in der 3ten Reihe, bei Differenzen in den beiden ersten, entstand dadurch, dass ich, um wiederholtes Rechnen zu vermeiden, die Stellung des Instrumentes unter dem Winkel liess, welcher für mich gepasst hatte und die verschiedenen Beobachter nur veranlasste, durch Nähern oder Entfernen des Instrumentes die Haarvisiere in die Mitte der Diopter zu bringen. Die Schätzung des Punktes, über welchem das Auge schwebte, gestattete keine genauere Bestimmung als 0,05.

Im Verlauf der Untersuchungen wird sich finden, dass man alle Ursache hat, Richtungsstrahlen und Sehstrahlen als zusammenfallend zu denken. Ist diese Behauptung begründet, wie wir im Kap. V. beweisen werden, so erläutern unsre, mit dem menschlichen Auge angestellten, Versuche nicht blos ein subjectives Moment des Sehens, sondern gleichzeitig ein objectives, das heisst, sie belehren uns nicht blos über den Standpunkt der Erscheinung ausser dem Auge, sondern auch über die Localität des Netzhautbildchens in ihm.

Betrachten wir das Zusammenfallen der Richtungsstrahlen und Sehstrahlen bereits als erwiesen, so können wir unsre Erfahrungen kurz in den Worten zusammenfassen:

Der Standpunkt des Netzhautbildchens wird bestimmt durch eine gerade Linie, die von dem Object durch den gemeinschaftlichen Kreuzungspunkt der Richtungs- und Sehstrahlen auf die Netzhaut gefällt wird. Die Localität dieses Punktes ist mit Hülfe des Gesichtswinkelmessers bestimmbar; er liegt hinter der Krystallinse.

Kapitel V.

Von der Bewegung der Augen.

Die Bewegung der Augen in ihren Höhlen kann verschiedenartig gedacht werden. Da wir beim Fixiren von Objecten diese in den Kreuzungspunkt der verlängerten Sehachsen bringen, so bewegen wir letztere beim Umher-

blicken, und es fragt sich: verändern wir die Lage der Achsen in allen ihren Punkten, oder bleibt ein Punkt unverändert. Im ersten Falle würde Verschiebung der Augen Statt finden, im letztern Drehung. Bestünde Drehung, so könnte wieder der Drehpunkt nach verschiedenem Princip angebracht sein. Der feste Punkt der Augenachse könnte der Achsenpunkt der Netzhaut sein, in welchem Falle das Auge sich trichterförmig, wie der Arm um das Schultergelenk, bewegen würde; oder der Drehpunkt läge im Innern des Auges und die Bewegung ähnelte der eines Himmelskörpers um sein Centrum. Bei den Rochen und Hayfischen, deren Auge auf einem knorplichen Stiele aufsitzt, muss die Bewegung nothwendig der eines einarmigen Hebels gleichen; bei den Menschen ist dies anders. Das Auge dreht sich bei allen Bewegungen um einen Punkt, welcher gleichzeitig der Kreuzungspunkt der Richtungsstrahlen und Sehstrahlen ist.

1ter Beweis. Auf eine horizontale Tafel *(Tab. II. Fig. 3)* stecke man die Nadeln f, b, g, welche man dem visierenden Auge durch die vorgesteckten Nadeln h, i, k versteckt. Die gleichzeitig gesehenen Nadeln h, i, k, liegen in Sehstrahlen, welche sich in einem Punkte des Auges kreuzen. Fixirt man i, so deckt dies b, aber gleichzeitig deckt h die Nadel f, und k deckt g. Bewegt man nun das Auge um den Winkel i c h seitlich und fixirt h′, so wird nicht nur f durch h, sondern auch b durch i und g durch k gedeckt. Dieselben Objecte, welche sich decken beim ruhigen Stande des Auges, decken sich auch während der Bewegung desselben. Da nun 2 Objecte nur dann in der Erscheinung sich decken, wenn für beide auf der Netzhaut nur ein Bild vorhanden ist,

und da für zwei Objecte auf der Netzhaut nur dann Ein Bild vorhanden sein kann, wenn sie in einer Richtungslinie, d. h. in einer geraden Linie liegen, welche den Drehpunkt des Auges schneidet, so kann der Kreuzungspunkt der Richtungsstrahlen bei Bewegung des Auges eine Ortsveränderung nicht erlitten haben. Wenn nämlich der Drehpunkt sich verrückt hätte, z. B. nach x, so würden Objecte, die in einer Richtungslinie gelegen hatten, wie k g, nicht mehr in einer Richtungslinie liegen können. Sie würden also auf der Netzhaut nicht, wie anfänglich, ein einziges, sondern zwei Netzhautbilder veranlasst haben, (s. Kap. IV. Vers. 5) was sich in der Erscheinung durch Verdoppelung des Gesichtsobjectes oder durch Aufhören der Deckung kund geben müsste. Nur wenn die Bewegung des Auges eine sehr grosse ist, hört die Deckung auf. Die hintereinander liegenden Objecte treten seitlich nebeneinander, wodurch der Schein begründet wird, als ob die Objecte sich bewegten.

2ter Beweis. Besteht die Bewegung des Auges in einer Rotation desselben um einen unbeweglichen Punkt, in welchem die Sehstrahlen sich kreuzen, so dürfen diese Kreuzungspunkte beim Schielen der Augen nach Innen sich nicht nähern. Dies geschieht auch nicht, sondern die Distanz der beiden Kreuzungspunkte bleibt bei allen möglichen Stellungen der Augen dieselbe, bei meinem Auge 2,4 Par. Zoll. Die Berechnungen, die ich hierüber anstellte, ergaben erst in der zweiten Dezima l e Differenzen, welche aber als Folge unvermeidlicher Beobachtungsfehler unberücksichtigt bleiben können. Der Versuch ist folgender:

Ich nahm ein Bretchen l m n o, *Fig. 24 Tab. III.*, welches zwischen l o mit einem Einschnitt für die Nase versehen ist, damit es unter den Augen bequem und fest

an das Gesicht gedrückt werden kann. Dieses Bretchen ist mit 2 äusserst feinen Diopteru, r, s versehen, welche sich willkührlich an einander und von einander schieben lassen. Bei c ist eine feine Nadel eingesteckt. Ich setze nun das Instrument in horizontaler Richtung unter den Augen an, fixire c und schiebe an den Dioptern so lange, bis die fixirte Nadel jederseits in der Mitte des Diopterlochs steht. Auf diese Weise erhält man den messbaren Winkel y, welches der Winkel ist, unter welchem die Augenachsen sich schneiden.

Es kommt jetzt darauf an, die Grösse von d c und e c, das heisst die Entfernung der Kreuzungspunkte der Sehstrahlen d, e vom Object c zu wissen, um aus 2 bekannten Seiten und einem bekannten Winkel die Grösse der 3ten Seite d e zu berechnen, welche Seite gleich ist der Distanz der Kreuzungspunkte unter sich.

Die Grösse d a und e b als Entfernungen der Kreuzungspunkte der Sehstrahlen von dem vordersten Punkte der Hornhaut, waren aus frühern Versuchen (Kap. IV.) bekannt, die Grössen a c und b c als die Entfernungen des Objects von den vordersten Punkten des Auges liessen sich messen. Um die Messung genau zu machen, waren an dem Rande l o des Bretchens sehr enge Parallellinien gezogen. Wurde das Instrument angesetzt, so ragten die vorspringenden Augen mit ihren vordersten Punkten a, b ein wenig in das Bretchen hinein, und ein zur Seite stehender Gehülfe bestimmte bei jedem Versuche, über welcher der Parallellinien die vordersten Punkte der Augen schwebten. Auf diese Weise liessen sich die Entfernungen a c und b c sehr genau mit dem Zirkel messen. Mochte nun die fixirte Nadel bei c sich 12 Zoll weit von den Augen oder bei x, unter 4 Zoll Entfernung befinden, immer war

die Distanz der Kreuzungspunkte unter sich = 2, 4''. Betrachtete ich durch das Instrument Statt einer Nadel das Sonnenbild, so mussten die Diopter eine Distanz von 2, 4'' bekommen, was, bei dem Parellelismus der Sonnenstrahlen, beweist, dass die Kreuzungspunkte, auch beim geradaus Sehen, eine Distanz von 2, 4'' haben.

3ter Beweis. Verschiebt man durch leisen Fingerdruck das Auge und folglich auch den Drehpunkt desselben, so treten Körper, die in gleichen Richtungslinien liegen und folglich sich decken, in zwei Bilder auseinander, während bei der natürlichen Bewegung des Auges die Deckung sich nicht ändert.

Bleibt nun bei allen Bewegungen des Auges, nach rechts und links, nach oben und unten, ein Punkt, wie wir bewiesen haben, unverrückt, so kann die Bewegung nur um diesen Punkt vor sich gehen oder rotirend sein. Ferner: dreht sich das Auge um den Kreuzungspunkt der Richtungsstrahlen eben so wohl, als um den Kreuzungspunkt der Sehstrahlen, so müssen diese beiden Punkte identisch sein, weil Drehung um zwei unbewegliche Punkte nicht möglich ist. Wir werden von nun an diese sich deckenden Kreuzungspunkte den Drehpunkt des Auges nennen.

Die Drehung des Auges um einen Punkt, der im Centrum des Auges oder doch nahe an ihm gelegen ist, erleichtert seine Bewegung in Mitten einer engen, und mit Muskeln, Zellgewebe und Fett vollkommen ausgefüllten Höhle. Die Bewegungen des Auges sind so bedeutend, dass wenn es sich um den feststehenden Achsenpunkt der Netzhaut hätte bewegen sollen, für so grosse Schwingungen kein Raum gewesen wäre. Auf jeden Fall würden bei grössern Bewegungen fühlbare Quetschungen ent-

standen sein, da das Auge in der vollen Höhle, wo es liegt, nur durch Wegdrücken andrer Theile sich hätte Platz machen können *).

Ich entsinne mich irgendwo gelesen zu haben, dass in den Leichen der an Auszehrung Verstorbenen nur das Fett in den Augenhöhlen sich erhalten findet. Ist dies richtig, so war es unstreitig Absicht der Natur, die sphärische Höhle zu schonen, in welcher sich das Auge auf eine ähnliche Weise dreht, wie ein runder Gelenkkopf in einer runden Pfanne. Würde das Fett der Augenhöhle verzehrt, so würde das Auge nicht mehr gedreht, sondern in dem leeren Raume hin und hergezogen worden sein. Es würde demnach der Drehpunkt des Auges seinen Platz verändern, und bei jeder Bewegung des Auges würde das eintreten, was jetzt nur bei Bewegung des Kopfes und ganzen Körpers eintritt, es müssten Objecte im parallactischen Winkel auseinander treten, die bei ruhigem Stande des Auges sich deckten.

Die activen Augenbewegungen (im Gegensatz zu den passiven, welche von äusserem Druck abhängen) gewähren den Vortheil, die Locomotion des Sehorgans im Gegensatz zur Ruhe des Objects, zur Anschauung zu bringen. Sonst wenn das Netzhautbildchen seine Stellung auf der *retina* verändert, sei es nun weil das Object sich bewegt und folglich auf verschiedene Stellen der Netzhaut sein Licht wirft, oder weil das Auge, durch äussern Druck

*) Zwar scheint sich das Auge der Knorpelfische, da es auf einem knorpelichen Stiele sitzt, wirklich um den Achsenpunkt der Netzhaut zu bewegen, indess erlaubt 1tens der sehr flüssige Zustand des Fettes in der Augenhöhle dieser Thiere allerdings Bewegungen ohne nachtheiligen Druck, und 2tens sind diese Bewegungen, nach Analogie andrer Fische, äusserst unbedeutend.

gezwungen, sich bewegt, und demnach verschiedene Stellen der Netzhaut dem ruhenden Bilde sich unterschieben, so entsteht die Empfindung von objectiver Bewegung im ruhenden Gesichtsfelde. Nicht so wenn das Auge sich selbst bewegt. Denn obschon auch in diesem Falle die Stellung des Netzhautbildchens auf der *Retina* sich ändert, so erscheint doch das Objekt als ruhend. Wir empfinden nämlich im Muskelspiel, dass die Bewegung in uns selbst vorgeht, und dass die sich drehenden Augen willkührlich immer neue Netzhautpunkte dem Objecte gegenüberstellen.

Kapitel VI.

Vom Aufrechtsehen.

Das Aufrechtsehen bei verkehrtem Netzhautbilde wird fast von jedem Physiologen auf andre Weise erklärt, was andeuten dürfte, dass alle bisherigen Erklärungen noch nicht genügen. Das Ungenügende derselben liegt aber, wenn wir nicht irren, weniger in der Erkenntniss als in der Zusammenstellung der eingreifenden Momente, und mit Elementen, die längst bekannt sind, dürfte sich eine Theorie zusammenstellen lassen, die allgemeineren Anklang findet, als irgend eine frühere.

Berthold *) nimmt, wie früher Berkeley, an, dass für das Auge ein Oben und Unten gar nicht bestehe, und dass diese Vorstellungen, als vom Begriff der Schwere abhängig, nur durch das Allgemeingefühl unter Mitwirkung der Muskelbewegung hervorgerufen würden.

*) Das Aufrechterscheinen der Gesichtsobjecte. Göttingen 1835.

Bartels *) wiederholt die Ansicht Porterfield's wenn er behauptet, dass jede Stelle der Netzhaut das Licht als ein senkrecht gegenüberstehendes empfinde und ausser sich setze, demnach den Reitz der obern Hälfte auf ein Unteres beziehe und umgekehrt.

Chaubart **) hat in einem Aufsatze, der nicht blos physiologischen, sondern physikalischen Grundbegriffen entgegentritt (er leitet das verkehrte Bild im Auge von der Pupille ab), behauptet, dass das Bild auf der Netzhaut gar nicht zum Sehen diene, und dass wir über den Stand der Gesichtsobjecte nur vermöge gewisser kleiner Bewegungen des Auges urtheilten.

Walker ***) wiederholt den alten Einwurf, dass das Aufrechtsehen eines verkehrten Bildes in Widerspruch mit unsren Tastempfindungen stehe, und nimmt daher eine doppelte Kreuzung der Fasern im Chiasma der Sehnerven an, eine von oben nach unten und eine von rechts nach links.

Die natürlichste Erklärung des Aufrechtsehens ist die, dass es einer Erklärung gar nicht bedarf, wie Johannes Müller behauptet, dessen Ansicht längst durchgedrungen sein würde, wenn nicht seine subjective Auffassungsweise der Sinnenthätigkeit den Gegnern eine Blösse gegeben hätte. Auch wir behaupten, dass es einer Erklärung des Aufrechtsehens nicht bedarf, so lange das Auge nicht Einzelnes sondern Alles umkehrt. Verkehrt kann nichts sein, wo nichts gerade ist, denn beide Begriffe existiren nur im Gegensatze. Da das beschauende Auge, eben

*) Beiträge zur Physiol. des Gesichtssinnes. Berlin 1834. p. 39.

**) Nouvelle théorie de la vision, extrait de la Revue méd. Juillet 1833.

***) The nervous Systeme by Alexander Walker. London 1834.

weil es alles umkehrt, auch alles in seinen lokalen Relationen lässt, so ist die Stellung des Bildes gänzlich gleichgültig. Die Seele ist nicht im Stande, das Bild der Netzhaut zu vergleichen mit dem Objecte selbst, denn es empfindet ja das Object nur im Bilde, kann also den Gegensatz in der Stellung beider durchaus nicht entdecken. Dieser rein negativen Theorie, wie sie Johannes Müller mit grosser Klarheit entwickelt hat, könnte der Einwurf gemacht werden, dass sie mit dem allgemeinen Gefühl in Widerspruch stehe. Wenn nämlich das Gefühl uns über den Zustand unsrer eignen Leiblichkeit benachrichtigt, z. B. über Schmerz, so tritt die Oertlichkeit des afficirten Organs zugleich mit in's Bewusstsein. Wir unterscheiden Schmerz im rechten und im linken Auge, mehr oben in der Brust, mehr unten im Magen. Man hat daher allerdings das Recht zu fragen, warum wir eine Affection der untern Hälfte der Retina nicht als solche empfinden, warum wir hier nicht, wie anderwärts, inne werden, dass der Theil des Organs, der dem Schwerpunkt der Erde näher liegt, der afficirte sei. Die Antwort scheint uns einfach die, dass beim Sehen ein Empfinden der eignen Leiblichkeit ein für allemal fehlt. Dass es aber fehle, lehrt negativ das Bewusstsein, in so fern es von einer solchen Empfindung nichts weiss. Wie wir nun über den Zustand unsrer Netzhaut überhaupt gar nichts erfahren, so erfahren wir auch über die Affection ihres Oben und Unten nichts, und von einem Streite zwischen Sehen und Allgemeingefühl ist nicht die Rede, weil letzteres nicht in die Schranken tritt. Wenn Lenhossek *) in Bezug auf das Aufrechtsehen sagt: *coenaesthesin, qua proprii corporis et singu-*

---

*) Physiologia medicinalis Vol. IV. pag. 394.

larum partium situm distinguimus, in hoc phaenomeno multum facere, Fischeri docet observatio, qua innotuit, somnambulos nonnunquam, corporis polaritate conversa, externas res inverse videre", so würde ich, wenn die, mir äusserst unwahrscheinliche, Beobachtung sich bestätigte, das Gegentheil daraus schliessen. Das Verkehrtsehen solcher Personen wäre Folge des in der Netzhaut krankhaft erregten Allgemeingefühls, dessen Mangel im gesunden Zustande einen Vergleich zwischen der Lage des Bildes und des afficirten Organs eben unmöglich macht.

Johannes Müllers rein subjective Auffassungsweise der Sinnenthätigkeit gestattet nun freilich eine der gegebenen ähnliche Auflösung nicht, und auf seinem Standpunkte bleibt es räthselhaft, warum die sich selbst empfindende *retina* im Widerspruch mit allen andern Organen ihr Oben als Unten empfinde.

Gesicht und Allgemeingefühl sind also keineswegs im Streite und ebenso wenig besteht ein Widerspruch zwischen der Stellung des Netzhautbildes mit der Stellung, um mich so auszudrücken, des Tastbildes. Man hat gesagt, das Oben eines Objectes trifft die *retina* nach unten, die Haut aber nach oben, und folglich ist die Stellung der erregten Punkte die umgekehrte. Dieses entgegengesetzte Verhältniss der Stellung ist aber durchaus unwesentlich, wie sich daraus ergiebt, dass jener Gegensatz nicht immer Statt findet und dass, wenn er fehlt, die Empfindung dieselbe bleibt. Nehmen wir einen bestimmten Fall. Bartels sieht es als einen realen Missstand an, dass die Flamme eines Leuchters, welcher vor uns steht, nach der Stirn zu gerichtet ist, im Bilde der Netzhaut aber nach dem Kinne zu. Dieselbe Flamme afficirt in dem einen Sinnesorgane ein Oberes, in dem andern ein Unteres, und um-

gekehrt würde der Fuss des Leuchters dort ein Unteres, hier ein Oberes treffen. Wollte man aber den Leuchter auf die Erde stellen, und durch die Beine sehen, so würde zwar der Fuss des Leuchters auf die untere Hälfte der Netzhaut treffen und gleichzeitig der Haut des Scheitels gegenüberstehen, so dass auch hier der Widerspruch in der Stellung der Bilder fortbestände, allein andrerseits würde der Fuss des Leuchters auch von dem tastenden Fusse des Beobachters als ein Unteres wahrgenommen werden, und die Flamme, als dem Knie gegenüberstehend, würde als ein Oberes erscheinen. Das Bild des Auges wäre also in Harmonie mit dem Tastbilde der Fussgegend und in Widerspiel mit dem Tastbilde der Kopfgegend, ohne dass die Empfindung diess nachwiese. Der Fall beweist, dass auch im Bereiche des Tastsinns auf die Stellung des Bildes gar nichts ankommt. In der That mögen wir unsre Hand auf eine Büste der Länge nach oder der Quere nach andrücken, das Urtheil über Oben und Unten bleibt dasselbe. Wir fühlen die Stirn der Büste nicht als das Obere, weil und in wiefern sie eine mehr nach oben gelegene Partie unsers Tastorgans trifft, sondern in so fern wir bei Tastversuchen ihre Relation zu andern Partien entdecken, die nach dem Sprachgebrauch mehr nach unten liegen. Unten ist aber nach dem Sprachgebrauche das, was im Verhältniss zu einem andern der Erde näher liegt, oben ist das, was im Verhältniss zu einem zweiten von der Erde entfernter ist. Brauchen wir statt Oben das Wort himmelwärts, statt Unten erdwärts, so ist es nicht schwer zu begreifen, warum wir die Objecte aufrecht sehen, wir müssen nämlich die Beine eines betrachteten Menschen erdwärts sehen, weil auch im Bilde die Beine an der Erde haften. Das Getast aber lehrt das-

selbe und auf dieselbe Weise, daher von einem Widerspruch zwischen beiden Sinnesempfindungen nicht die Rede sein kann.

Alle positiven Theorien des Aufrechtsehens sind theils falsch, theils überflüssig. Zu der ersten Klasse gehört auch die von Berthold, die wir oben erwähnt haben.

Wir können zugeben, dass oben und unten relative Begriffe sind, die in Bezug zu den Erscheinungen der Schwere stehn. Unten ist allerdings im Raume das, wohin jeder Körper durch die Kraft der Schwere entweder wirklich bewegt wird, oder doch sich zu bewegen strebt; und Oben ist das, durch jenes Unten polarisch bedingte, diametral entgegengesetzte Räumliche. Allein wir können nicht zugeben, dass nur das Allgemeingefühl im Stande sei die Vorstellung der Schwere zu ermitteln, indem es in den Muskelbewegungen das Maass der Kraft empfindet, mit welchem wir uns der Schwerkraft entgegen stellen.

Die Erscheinungen des Falles, welche auch vom ruhenden Auge wahrgenommen werden, leiten so nothwendig zum Begriff eines anziehenden Erdzentrums, also eines Unten, dem ein Oberes gegenübersteht, als irgend eine Wägung mittelst der Muskelkraft.

Die Hauptsache aber ist, dass Oben und Unten, als Gesichtserscheinungen, durchaus nicht durch den Begriff der Schwere gesetzt sind, sondern ganz unabhängig von diesem, unstreitig schon vor ihm, bestehen. Ganz abstrahirt von dem Oben und Unten der Schwere, giebt es für das Auge ein himmelwärts und ein erdwärts, als reine Directionsverhältnisse, als die blaue und grüne Hälfte des Gesichtsfeldes.

Wir haben nicht den geringsten Grund zu zweifeln, dass dieses Oben und Unten mit dem ersten Oeffnen der

Augen zur Erscheinung komme, während wir gar keinen Grund haben anzunehmen, dass erst durch die Muskelbewegungen des Auges, entweder mit oder gegen die Schwerkraft, jene Vorstellungen sich bilden. Im Gegentheil findet sich für das Oben und Unten des Schwergefühls und das Oben und Unten des Gesichtssinnes im Gefühl kein Vereinigungspunkt, sie entstehen und bleiben getrennt im Bewusstsein. Von einem Widerspruch zwischen den Wahrnehmungen des Schwergefühls und des Gesichts kann aber wieder nicht die Rede sein. Denn dieselbe Bewegung, welche das Allgemeingefühl als nach dem Centrum der Erde zuwärts gehend empfindet, sieht auch das Auge, trotz des verkehrten Bildes, nicht anders, beide Sinne empfinden eine Veränderung der Räumlichkeit, eine Bewegung vom Himmel nach der Erde zu.

Was die von Walker wiederholte Hypothese einer Kreuzung der Sehnervenfasern anbelangt, so enthält diese den groben Irrthum, dass der obere Theil des Sehnerven die Vorstellung eines Oben, der untere Theil aber die Vorstellung eines Unten erzeuge. Wäre dies begründet, so müsste die Vorstellung von der Lage der Objecte mit jeder seitlichen Neigung des Hauptes sich ändern. Gesetzt, der untere Theil der Netzhaut würde nach vorgängiger Kreuzung von obern Nervenfasern gebildet, und wäre dadurch zur Empfindung eines Obern organisch bestimmt, so müsste jeder Theil eines Objectes, der auf dieser untern Hälfte sich bildlich darstellte, als oberer erscheinen, da doch nicht immer das objectiv obere, sondern, wenn wir uns auf den Kopf stellen, sogar das objectiv untere, auf diesen Theil der *retina* fallen wird.

Wir wiederholen, dass eine Erklärung des Aufrechtsehens so lange nicht nöthig ist, als mit der Umkehrung

der Gesichtsobjecte zugleich Himmel und Erde, als die Bestimmungspunkte des Oben und Unten, verwendet werden, und so lange beim Sehen nur das Object, nicht gleichzeitig der Zustand des Subjects empfunden wird. Aufrecht würden wir selbst dann sehen, wenn das Netzhautbildchen der Quere stände. Sollten wir aber die Objecte nicht blos aufrecht, sondern auch da sehen, wo sie wirklich sind, so musste das Bildchen im Auge eine verkehrte Lage haben, indem, wie oben gezeigt wurde, jeder Netzhautpunkt seine Empfindung in gerader Linie durch den Drehpunkt des Auges nach aussen projizirt. Bedürfte das Aufrechtsehen einer Erklärung, so würde es, wie Porterfield und Bartels richtig bemerkt haben, durch die, der Netzhaut organisch inwohnende, Direction der Empfindung allerdings erläutert werden.

Dieses Zugeständniss ist gegen J. Müllers Ansicht, der in Bezug auf Bartels Theorie folgendes bemerkt *): Da die von verschiedenen Punkten der hohlen Netzhautebene gezogenen Directionslinien sich kreuzen, vor der Kreuzung in derselben Ordnung convergieren, nach der Kreuzung in umgekehrter Ordnung divergieren, so fragt sich, ist das Gesichtsfeld vor oder hinter der Kreuzung, oder im Punkte der Kreuzung? Ist das Gesichtsfeld vor der Kreuzung, so findet dieselbe Ordnung wie auf der Netzhaut statt, und die Erklärung fällt weg; ist das Gesichtsfeld im Punkte der Kreuzung, so müssten alle Bilder einer Ebene in einem einzigen Punkte und also gar nicht gesehen werden. Ist das Gesichtsfeld hinter der Kreuzung, dann allein findet Umkehrung statt.'' Müller zweifelt, dass man irgend einen Grund habe, das Gesichtsfeld als

*) Archiv für Anat. und Physiol. 1835. S. 147.

ausserhalb des Auges gesetzt anzunehmen: wir haben die entgegengesetzte Ansicht im 3ten Kapitel geltend zu machen versucht.

Kapitel VII.

Vom Schätzen der Grösse.

Dieselben Gegenstände erscheinen unter verschiedener Entfernung nicht gleich gross, sondern grösser in der Nähe, kleiner in der Ferne, daher man von scheinbarer Grösse spricht.

Die Physik lehrt, dass die scheinbare Grösse durch den Gesichtswinkel bestimmt werde, unter welchem wir die Objecte sehen, und das richtige Verständniss dieser Lehre ist auch für die Physiologie von Wichtigkeit.

Der Ausspruch, dass die scheinbare Grösse eines Gegenstandes der Grösse des Gesichtswinkels entspreche, ist von rein formellem Interesse, wenn man nicht im Stande ist, die Grösse des Gesichtswinkels selbst zu messen. Eine solche Messung war bisher nicht möglich, weil man sich über die Linien, welche ihn bilden, noch nicht vereinigt hatte.

Einige Physiker lassen den Gesichtswinkel durch Lichtstrahlen gebildet werden, welche von den Endpunkten des betrachteten Objects a b *Fig.* 6 *Tab. II.* ungebrochen durch das Centrum der Krystallinse c gehen. Diese Annahme ist unstatthaft. Da nämlich die wässrige Feuchtigkeit vor der Linse ein geringeres Brechungsvermögen hat, als der Glaskörper hinter ihr (nach Brewster erstere 1,3366 und letzterer 1,3394), so können selbst die

Achsenstrahlen die Lichtkegel nicht ungebrochen durch das Auge gehen. Ueberdies widerlegt den geradlinigen Gang des Lichtes die Kleinheit der Pupille in allen den Fällen, wo wir einen Körper unter sehr beträchtlichem Gesichtswinkel sehen. Es sei d e *Fig.* 6 *Tab. II.* eine Bergkette, welche im Kreise des Horizontes 100° einnimmt, so zeigt die Figur, dass ungebrochene Lichtstrahlen von ihren Endpunkten gar nicht zum Mittelpunkt der Linse gelangen können, weil die Iris sie auffängt.

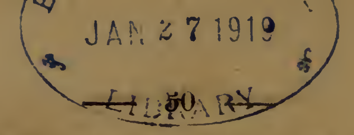
Nicht der Gang des Lichtes, sondern der Gang der Empfindung der Sehstrahlen bestimmt den Gesichtswinkel. Die Grösse des Gesichtswinkels aber hängt von der Kreuzungsstelle der Sehstrahlen ab. Ich habe gezeigt, dass diese Kreuzungsstelle mit dem Drehpunkt des Auges zusammenfällt, und, nach einer Mittelzahl, 0,466 Zoll hinter dem vordersten Punkte der Hornhaut liegt.

Nach diesen Bestimmungen gewinnt der Gesichtswinkel neben dem formellen Interesse noch ein materielles, indem die Grösse desselben ihrem wahren Werthe nach bestimmt werden kann *). Für die Empfindung der Grössen aber ist die Grösse des Gesichtswinkels in so fern gleichgültig, als das Auge kein Mittel besitzt, sie zu messen. Wir empfinden nicht den Winkel, sondern einzig das Netzhautbildchen, dessen Grösse weder mit Graden noch Zollen in der Empfindung vergleichbar ist.

Wir schätzen die Grösse der Netzhautbildchen, und

---

*) Die Gesichtswinkel, deren Werthe man bis jetzt angegeben hat, sind nicht Gesichtswinkel in dem hier gebrauchten Sinne, sondern Visierwinkel. Wenn man z. B. die Kleinheit der Winkel angiebt, unter welchen Gegenstände noch wahrnehmbar sind, so versteht man darunter den Winkel, welchen die beiden Endpunkte eines Gegenstandes mit dem vordersten Punkte der Hornhaut machen.



folglich die Objecte selbst, unstreitig nach der Zahl der empfindenden Nervenpunkte, die in der beleuchteten Stelle in Thätigkeit gesetzt werden. Schon J. Müller hat sich dahin erklärt, dass objective Grösse nur durch die Empfindung der Grösse unsrer eignen affizirten Leiblichkeit zur Anschauung komme. — In der That eines Daumens Breite hat das, was der Daumen als seiner Breite entsprechend empfindet, aber, wohl zu merken, empfindet der Daumen sich selbst nur so gross, als die Zahl seiner gesondert empfindenden Stellen gestattet. Hierüber geben E. H. Webers merkwürdige Entdeckungen im Felde des Tastsinnes den nöthigen Aufschluss *).

Weber fand, dass verschiedene Stellen der Haut in verschiedenem Grade die Fähigkeit besitzen, 2 betastete Zirkelspitzen als gesondert zu unterscheiden oder nicht. An den äussersten Fingerspitzen wird eine Distanz der Zirkelenden von 1 Linie wahrgenommen, aber je näher dem Centrum des Körpers der Zirkel aufgesetzt wird, um so mehr muss man die Entfernung seiner Spitzen vergrössern, wenn sie zur Wahrnehmung kommen soll. Auf dem Rücken ist der Tastsinn so stumpf, dass beide Spitzen als eine empfunden werden, wenn die Trennung derselben nicht mindestens 30''' beträgt. Wenn man nun die Zirkelenden auf eine Entfernung von etwa 1 Zoll stellt, und zuförderst an einer Fingerspitze, dann aber allmählig immer weiter nach oben, dem Centrum des Körpers zuwärts, aufsetzt, so scheint dem Gefühle die Distanz der Zirkelspitzen immer kleiner zu werden, es kommt eine Hautstelle, wo diese Distanz nicht grösser empfunden wird, als die Distanz einer Linie an der Kuppe des Fingers,

*) Siehe E. H. Weber, de pulsu, resorptione, auditu et tactu. Annotat. anat. et physiol. Lips. 1834.

und diese Stelle liegt da, wo die Distanz eines Zolles die kleinste ist, welche der Sinn wahrnimmt.

Die Haut schätzt also die Grösse der Objecte so, dass sie die Grösse der letzten ihr wahrnehmbaren Distanz als Maasseinheit annimmt. Nennen wir diese Maasseinheit x, so ist die Grösse eines Zolles für die Fingerspitze = 12 x, für eine Stelle in der mittlern Gegend des Arms aber = 1 x, denn jede Stelle der Haut giebt einem betasteten Objecte so vielmal die Grösse x, als sie Stellen enthält, die das x als Gesondertes zu unterscheiden im Stande sind.

Diese Art die Grössen zu schätzen spricht sich so ganz als im Organismus begründet aus, dass wir einen analogen Hergang in der Sphäre des Gesichtes mit Nothwendigkeit voraussetzen. In diesem Falle kann aber von einer wahren Grösse, der scheinbaren gegenüber, nicht wohl die Rede sein.

Gleichwohl hat J. Müller von einer wahren Grösse der Gesichtsobjecte gesprochen, indem er scharfsinnig genug die empfindende Netzhaut als absolutes Maass der Grösse nahm. Die *retina* empfindet sich nach ihm in ihrer wahren leiblichen Grösse, und Gesichtsobjecte würden in ihrer wahren Grösse nur dann gesehen, wenn die Grösse des Netzhautbildchens gleich käme der Grösse des Objectes selbst. Nun kann nach dem Baue des Auges die Grösse des Bildes der Grösse des Objectes nie gleichkommen, und so sehen wir die Objecte immer in scheinbarer Kleinheit auf der sich in ihrer wahren Grösse empfindenden Netzhaut.

Das Mangelhafte dieser Ansicht (die übrigens nur mit einer rein subjectiven Auffassungsweise der Sinnenthätigkeit verträglich ist), liegt, wie erst jetzt aus Weber's

4*

Erfahrungen deutlich wird, in der Annahme, dass das Sinnesorgan sich selbst in seiner absoluten Grösse empfinde, da es sich doch vielmehr in einem Bruchtheile empfindet. Selbst in der Sphäre des Getastes kann von wahren Grössen nicht die Rede sein, denn jeder Theil der Haut schätzt die Grössen, mit denen er in Berührung kommt, anders. Wenn die Grösse eines Zolls von der Fingerspitze = 12 x, von einer Stelle am Arme dagegen = 1 x geschätzt, wird, so ist eine Empfindung so wahr und so falsch als die andre. In der That liesse sich die paradoxe Behauptung rechtfertigen, dass wir alle Objecte zu klein empfänden; denn da die kleinsten wahrnehmbaren Theile, die uns punktförmig erscheinen, noch theilbar zu denken sind, so würde in diesem Sinne eine wahre Grösse zu einem Punkte contrahirt, oder verkleinert.

Nach dem Vorausgeschickten würden die Grössen-Vorstellungen gar nicht an Objectivität gewinnen, wenn das Netzhautbild gerade so gross ausfiele als das Object, von dem es herrührt, selbst. Die Abhängigkeit der Grössen-Vorstellungen von der Subjectivität des empfindenden Organs zeigt sich aber anders im Felde des Gesichtssinnes als in dem des Getastes; sie zeigt sich in letzterem bei Veränderung der Berührungsstelle des Objectes mit dem Organ, in ersterem bei Veränderung der Sehweite.

Auch die Netzhaut nimmt, bei Schätzung der Grösse, die letzte sichtbare Distanz als Maasseinheit an.

Nennen wir dieses Maass y, so erscheint dem Auge ein Object gleich so viel y, als durch das Netzhautbildchen discret empfindende Stellen der Nervenhaut in Thätigkeit gesetzt werden. Mit der Entfernung des Objects nimmt nach den Gesetzen der Refraction die Grösse des Netzhautbildchens ab, in demselben Maasse verringert

sich die Zahl der empfindenden Nervenpunkte, und als nothwendige Folge erscheint das Object in demselben Maasse kleiner.

Beim Tastsinn haben wir gefunden, dass die Grösse nach einer Maasseinheit bestimmt wird, die den verschiedensten geometrischen Grössen entspricht. Die Fingerspitze empfindet 1‴ eben so gross, als eine andre Hautstelle 1″ empfindet, und empfindet also grösser. Es müssen nun wieder die Augen grösser empfinden als die Fingerspitzen, vorausgesetzt, dass die Grössenempfindungen des Auges und der Hand demselben Princip ihren Ursprung verdanken. Würden alle Grössen nach derselben Maasseinheit, nicht blos von den verschiedenen Partien des Tastorgans, wie empirisch erwiesen, sondern auch von der Netzhaut geschätzt, so würde dasselbe geometrische Maass eines Zolles, wie es dem Arm = 1 x, der Fingerspitze schon als 12 x erscheint, so dem Auge = 8,000 x erscheinen, vorausgesetzt, dass die kleinste sichtbare Distanz, wie Smith berechnet, 1/8000 Zoll ist.

Wir geben zu, dass diese Berechnung von einer Voraussetzung ausgeht, aber die Voraussetzung drängt sich nach dem Gange der Vorstellungen im Bereich des Tastorgans von selbst auf. Da die 5 Sinne nur als eben so viele Manifestationen eines Sinnes angenommen werden können, so ist äusserst unwahrscheinlich, dass den Grössen-Empfindungen des Getastes und Gesichtes verschiedene Maasseinheiten zum Grunde liegen sollten.

Aus dem Gesagten ergiebt sich, dass die Grösse des subjectiven Bildes im Verhältniss zur Kleinheit des objectiven auf der Netzhaut, nicht, wie Bartels *) angiebt.

---

*) Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes. Berlin 1834. S. 38.

beweist, dass das Auge seine Empfindungen ausser sich setzt, indem die scheinbare Grösse des erstern sich nur durch die Entfernung erkläre, in der wir es vor das Auge setzen. Er beruft sich auf den Umfang, den subjective Nachbilder auf einem mehr oder weniger entfernten Hintergrunde einnehmen.

Auf der Netzhaut N N *Fig.* 8 *Tab. II.* sei a c die von einer Lichtflamme gereizte Stelle, welche das Nachbild erzeugt; a b sei die Stelle, auf welcher sich das Bildchen eines Pfeiles A B darstellt. Die durch das Licht überreizte Stelle a c empfindet alle die Strahlen nicht, welche von A C nach a c in's Auge fallen, es deckt also das Bildchen a c das Bild von A C, oder ist eben so gross. Bringt man den Pfeil dem Auge näher, nach A′ B′, so ist a b nicht mehr der Raum des ganzen Pfeilbildes, sondern nur des Theiles α β, das Flammenbildchen a c deckt also nur den kleinen Theil α γ und erscheint demnach so klein als dieser. Diese Verschiedenheit der scheinbaren Grössen entsteht aber nicht als Folge der reinen Empfindung, sondern durch Einmischung erfahrungsmässig erworbener Kenntniss. Wir haben auf empirischem Wege erkannt, dass A C geometrisch grösser ist, als $\alpha\gamma$, diese Erfahrung hat sich mit unsrer Anschauungsweise auf das Innigste verknüpft, und so ist uns das Flammenbildchen, welches das grössere A C deckt, ein grösseres als das, welches α γ deckt. Die Empfindung an sich weiss von alle dem nichts. Die empfindende Netzhautstelle a c giebt sowohl dem Flammenbildchen, als den Bruchstücken der Pfeilbilder α γ und A C, die durch das Flammenbild gedeckt werden, eine Grösse, welche gleich ist so viel x, als zwischen a und c different empfindende Netzhautpunkte liegen.

Die Annahme, dass die Bilder betrachteter Gegenstände durch das Setzen nach aussen in der Empfindung sich vergrössern, ist unstreitig aus der Schwierigkeit entstanden, sich zu erklären, wie die kleinen Netzhautbildchen so grosse subjective Bilder bedingen sollten. Klein ist das Netzhautbildchen freilich für das Getast, klein auch für das Auge des Zuschauers, welches das Netzhautbildchen nochmals verkleinert in sich aufnimmt, gross aber ist es für die empfindende Netzhaut selbst, weil sie das noch als vielfach theilbare Grösse wahrnimmt, was dem Getast längst schon als Punkt verschwunden.

Es ist bekannte Thatsache, dass der Winkel, unter welchem die kleinsten Grössen noch sichtbar sind, bei verschiedenen Augen verschieden ausfalle. Es fragt sich nun, ob solche Augen, welche nur grössere Distanzen wahrnehmen können, nach Analogie des Hautorgans eine gegebene geometrische Grösse für kleiner halten als andre, der Wahrnehmung kleinerer Distanzen fähige Augen, und umgekehrt.

Bei Beantwortung dieser Frage muss jedenfalls das gesunde Auge vom kranken und geschwächten sorgfältig unterschieden werden. Das Vermögen, kleine Distanzen zu unterscheiden, vermindert sich nach zu starkem Weingenuss und bei lokaler Anwendung narkotischer Mittel auf das Auge. Ich hatte mein rechtes Auge durch Eintröpfeln von aufgelöstem Belladonnaextract stark narkotisirt, und betrachtete damit 3 äusserst zarte, möglichst nah an einander gezogene Parallellinien *Fig.* 16 *Tab. II.*, von welchen die beiden äussern die längern waren, und also einen grössern Zwischenraum frei liessen. Mit dem gesunden linken Auge vermochte ich die beiden feinen Zwischenräume zwischen den 3 Linien wohl zu erkennen,

nicht aber mit dem narkotisirten Auge, unter welcher Entfernung auch ich die Fig. betrachtete. Dagegen konnte ich den grössern Zwischenraum zwischen den verlängerten äussersten Linien allerdings mit dem kranken Auge wahrnehmen, wobei sich fand, dass dieser Zwischenraum dem kranken Auge nicht kleiner schien als dem gesunden.

Vielleicht erklärt sich diese Beobachtung ganz einfach dadurch, dass Narkotismus das Accommodationsvermögen für grösste Nähe hindert, und dass die kleinen Zwischenräume nur in grösster Nähe unter hinlänglich grossem Gesichtswinkel wahrgenommen werden konnten. Ich habe leider unterlassen den Probeversuch anzustellen, ob in der Entfernung, in welcher das kranke Auge am deutlichsten sah, das gesunde im Stande war die kleinen Zwischenräume zu unterscheiden. Wäre dies der Fall gewesen, so müsste man auf eine Erklärung denken, warum das Auge, welches nur grössere Distanzen wahrnahm, nicht diese für eben so klein hielt, als das gesunde Auge die kleinen *).

---

*) Die Erklärung dürfte dann folgende sein: Zwei zum Empfinden veranlasste Punkte schätzen ihre gegenseitige Entfernung nach der Menge zwischenliegender, zu diskreten Empfindungen geeigneter Punkte, selbst wenn diese zwischenliegenden Punkte (wie im Versuch mit den Zirkelspitzen) im Zustand der Empfindungslosigkeit sind. So würden die Nervenpunkte, welche in der Fig. die verlängerten Seitenlinien empfinden, ihre Distanz nach der Menge der zwischen liegenden, nur durch zufälligen Einfluss empfindungslosen Punkte, richtig schätzen. Der Grund aber, warum nur zwei entferntere, nicht auch zwei nähere Nervenpunkte zum Gefühl der gegenseitigen Distanz angeregt werden könnten, läge in der Schwäche aus Ueberreizung, in Folge welcher die allzukleine Distanz der Wahrnehmung entginge. Man denke sich 2 Linien in einen Winkel zusammen laufend, so könnte wohl ein schwaches Auge die Distanz der entfernten Enden in ihrer vollen Grösse wahrnehmen, während ihm die Distanz der Linien, unmittelbar vor dem Vereinigungspunkte, ganz entginge.

Mag dem nun sein wie ihm wolle, so glaube ich doch, ist für solche Augen, die in Folge organischer Anlage kleinere Distanzen unterscheiden, ein Grösser-Sehen in derselben Art sehr wahrscheinlich, wie die Haut der Fingerspitzen grösser fühlt, als die Haut des Armes.

Mit dieser Annahme erschliessen sich sehr merkwürdige Aussichten in die vergleichende Physiologie des Gesichtssinnes. Es ist mehr als Ahnung, dass dieselben Objecte von verschiedenen Thieren in verschiedener Grösse gesehen werden, indem es ausser Zweifel ist, dass viele unter kleinern Gesichtswinkeln (also kleinern Distanzen) sehen als der Mensch.

Wenn nicht aus physiologischen Gründen die Augen ein verschiedenes Vermögen des Grosssehens besitzen, so sieht jedes Auge ein Object in dem Maasse seiner eignen Grösse, d. h. dieselben Objekte erscheinen den kleinsten Augen am kleinsten. Da nämlich die Grösse eines Objectes nicht nach dem Gesichtswinkel, dessen wir uns gar nicht bewusst werden, sondern nach dem Maassstabe des Netzhautbildes gemessen wird, so ist zu berücksichtigen, dass die Grösse des letztern in demselben Maasse abnimmt, wie die des Auges.

Es sei *Fig.* 9. *Tab.* II. c der Drehpunkt sowohl des kleinen Auges a a, als auch des doppelt so grossen Auges A A; — l m n o p sei der betrachtete Gegenstand, so ist das Netzhautbildchen p″ l″ des Auges A A, doppelt so gross als das Bildchen p′ l′ des doppelt so kleinen Auges a a. Gesetzt nun, die Nervenhäute beider Augen wären ganz gleich construirt, so würden zwischen p″ l″ des grossen Auges doppelt so viel diskret empfindende Punkte liegen, als zwischen p′ l′. Träfe das Netzhautbildchen des grossen Auges auf 4 solche Punkte, so würde das des klei-

nern Auges nur auf 2 treffen, es würde also das grosse Auge an dem Objecte 4 gesonderte Partien l m, m n, n o, o p unterscheiden, das kleinere Auge nur 2, l n, n p. Nennen wir die Grösse, die ein diskret empfindender Nervenpunkt dem Empfundenen beilegt x, so würde dasselbe Object l m n o p für das grosse Auge = 4 x, für das kleine = 2 x sein. Indess kann der Bau der Netzhaut diese Differenz ausgleichen.

Das Vermögen der Raubvögel, aus beträchtlicher Höhe ihre Beute zu erkennen, rechtfertigt die Annahme vollkommen, dass das kleinere Auge dieser Thiere mindestens eben so gut als unser grösseres die kleinsten Theile der Objecte unterscheidet. Vermag die Netzhaut-Stelle p′ l′ des Auges a a am Object die 4 Partien l m, m n, n o, o p, zu unterscheiden, so müssen zwischen p′ l′ 4 diskret empfindende Punkte liegen. Jeder dieser Punkte giebt der empfundenen Partie eine Grösse x, und so wäre die scheinbare Grösse des Objectes auch für das kleinere Auge = 4 x.

Bis hierher dürfte sich der Argumentation schwerlich etwas Wesentliches entgegen setzen lassen, unentschieden bleibt aber die Frage, ob die Maasseinheiten, welche wir x nannten, für verschiedene Augen gleichen Werth haben, oder mit andern Worten, ob die Maasseinheiten, die von verschiedenen Augen ungleichen geometrischen Grössen beigelegt werden, dennoch im Gefühl gleiche scheinbare Grössen bedingen. Natürlich lässt sich auf diese Frage nicht entscheidend antworten, da ihre Lösung ein Eingehn in fremde Subjectivität erheischen würde. Indess scheint es der Analogie ganz gemäss, ein scharfsichtigeres Auge zu einem minder scharfsichtigen in dasselbe Verhältniss zu stellen, wie die feiner tastende Fingerspitze zum stumpfer tastenden Arm, von welchen gezeigt wurde, dass erstere die kleine Distanz

einer Linie eben so gross empfindet, als letzterer die 12mal grössere eines Zolles.

Wenn man, wie wir gethan haben, die scheinbare Grösse von der Zahl der diskret empfindenden Nerven-Punkte abhängig macht, so ist die Lage des Drehpunktes von Wichtigkeit, nicht in so fern er den Gesichtswinkel bestimmt, der gar nicht empfunden wird, sondern weil nach seiner Lage sich die Netzhautbilder und folglich die Zahl der empfindenden Nervenpunkte richtet. Es bedarf keiner weitern Erörterung, dass das Netzhautbildchen kleiner ausfällt, wenn die Kreuzung der Sehstrahlen im Centrum des Auges vor sich geht, grösser aber, wenn die Kreuzung in der Linse oder gar in der Mitte der Pupille zu Stande kommt. Im menschlichen Auge liegt der Drehpunkt ungefähr $\frac{1}{6}$ Zoll *Par.* hinter dem hintersten Punkte der Krystallinse. Durch diese ausserordentliche Nähe des Drehpunktes an der Netzhaut werden also sehr kleine Netzhautbilder und somit ein verhältnissmässiges Kleinsehn der Objecte bedingt.

Rosas*) nimmt an, dass der Scheitelpunkt des äussern und innern Gesichtswinkels (unser Drehpunkt) bei Kindern von der Netzhaut entfernter liegen müsse, weil die stärkere Biegung der Hornhaut das Licht in höherem Maasse breche. Mit Zunahme des Gesichtswinkels wüchsen die Netzhautbilder, und so erkläre es sich, warum uns in der Kindheit alles so gross erscheine. Indess liesse sich diese Erfahrung wohl auch daraus erklären, dass wir beim Schätzen einer Grösse immer auch den Maasstab unsrer eignen Leibesgrösse anlegen, dass wir die Grösse unsrer Bewegungen, vornehmlich unsrer Schritte, in Vergleich ziehen, wo dann natürlich das Urtheil des Erwachsenen

*) Handbuch der Augenheilkunde. Wien 1830. Bd. I. 316,

anders ausfallen muss. Wollte man mit Rosas annehmen, dass sich die Lage des Drehpunktes im Auge verändre, so würde der Prozess des Sehens eine totale Verwandlung erleiden, indem, wie gezeigt worden, alle Erscheinungen des objectiven und subjectiven Sehens, ja selbst die Bewegung der Augen, von der Lage des Drehpunktes abhängen.

Es wäre an sich nicht unmöglich, dass die *retina* in ihren verschiedenen Partien eben so gut, wie die Haut mit verschiedener Grösseempfindung begabt wäre. Die Abnahme der Empfindlichkeit, vom Achsenpunkte der Netzhaut an gerechnet, könnte allenfalls mit einem seltner werden der empfindenden Netzhautpunkte in Verbindung gesetzt werden, um so mehr, da die unempfindlichsten Stellen der Haut ebenfalls die sind, welche gegebene Grössen am kleinsten empfinden. In der Nachbarschaft des Achsenpunktes der Netzhaut werden Parallellinien durchaus als solche wahrgenommen. Betrachtet man sehr lange Parallellinien, so scheinen sie sich an ihren Enden zu nähern, aber hiervon ist der Grund offenbar die grössere Entfernung der Endpunkte. Die Linien nähern sich nach demselben Grundsatz, wie eine Allee sich scheinbar am Ende verschmälert. Ich habe verschiedene Versuche angestellt, die mir aber nur so viel bewiesen, dass es unmöglich ist zu einem entscheidenden Resultate zu gelangen, weil man einen deutlichen Begriff von Grösse nur auf dem mittleren Theile der Netzhaut zu erlangen vermag.

Es ist nach dem, was wir über den Gang der Richtungsstrahlen erfahren haben, möglich, die Grösse des Netzhautbildes eines gegebenen Objectes, unter gegebener Entfernung, mittelst eines Regel de tri Exempels auszurechnen. Fixiren wir nämlich ein Object so, dass unsere

Augenachse x n (*Tab. II. Fig.* 9) normal auf den Diameter l p des Objectes fällt, so verhält sich nach geometrischen Grundsätzen das Netzhautbildchen p″ l″ des Auges A A zur Grösse des Gegenstandes l p, wie die Entfernung x c, der Netzhaut vom Drehpunkte, zu der Entfernung c n, des Drehpunktes vom Object. Zwar giebt diese Berechnung für grosse Netzhautbilder kein reines Resultat, weil der Bogen, den sie auf der *retina* beschreiben, dem geradlinigen Diameter des Objectes nicht proportional ist; auch für Bilder, welche nicht gleichmässig nach beiden Seiten der Augenachse sich ausbreiten, ist das Resultat vielleicht nicht rein (weil nicht gehörig erwiesen, ob die Schenkel p″ c und l″ c des innern Gesichtswinkels p″ c l″ als Halbmesser der Netzhautkrümmung betrachtet werden dürfen, für sehr kleine Netzhautbilder aber kommen beide Rücksichten nicht in Betracht.

Besonders bequem ist die angegebene Methode, um den Diameter des kleinsten Netzhautbildchens zu berechnen, welches zur Wahrnehmung gelangen kann.

Muncke hat nach Berücksichtigung der sehr verschiedenen Angaben angenommen, dass ein Gesichtswinkel von ungefähr 30″ der kleinste ist, unter welchem wir sehen. Hiermit stimmen die neuen Untersuchungen von Treviranus, welcher einen schwarzen Punkt von 0,00833″ Diameter auf weissem Grunde bis in eine Entfernung von 48″ erkannte.

Da nun der Drehpunkt des Auges nach frühern Angaben im Mittel 0,466″ hinter dem vordersten Punkt der Hornhaut liegt, so würde die Entfernung des Objectes von diesem 48,466″ betragen. Nach Treviranus Tafeln ist die innere Achse des Auges, mit Hinzurechnung der Dicke der Hornhaut, im Mittel 0,819″, wovon 0,466″ abge-

zogen, die mittlere Entfernung des Drehpunktes von der Netzhaut zu 0,353′′ ergiebt. Nennen wir die Grösse des fraglichen Netzhautbildchens x, so ist das Exempel folgendes:

$$0{,}353'' : 48{,}466'' = x : 0{,}00833''.$$

Hiernach würde der Diameter des kleinsten empfindbaren Bildes 0,000060′′ sein. Allein diese Annahme ist offenbar unrichtig, indem nur bei ungünstigen Umständen, z. B. bei mangelndem Licht oder fehlerhafter Accommodation, Netzhautbilder von so beträchtlicher Grösse zum Sehen erforderlich sind. Jedes nur mittelmässige Auge erkennt ein Haupthaar von 0,002′′ Diameter in einer Entfernung von 30′′, in welchem Falle ein Netzhautbildchen von 0,000023′′ Diameter angenommen werden muss.

Wenn aber v. Bär's Schüler ein Haar von $\frac{1}{60}$ Linie Stärke in einer Entfernung von 28′ noch wahrzunehmen im Stande waren, so betrug, abstrahirt von der Verbreiterung des Netzhautbildchens durch fehlerhafte Accommodation, der Querdurchmesser dieses Bildchens nur 0,0000014′′! — Es scheint also, ganz abgesehen von dem letzten ausserordentliehen Falle, dass die kleinsten Netzhautbildchen beträchtlich kleiner sind, als die kleinsten Elemente der *retina*, deren Maasse wir kennen.

Es sei gestattet beiläufig darauf hinzuweisen, wie die hier gefundenen Resultate in andre Fragen über das Sehen modifizirend eingreifen. Erstens ist der Diameter der kleinsten empfindbaren Bilder der Maassstab für die Fähigkeit des Auges, die divergierend einfallenden Lichtstrahlen convergierend im kleinsten Raume zu vereinigen, zweitens widersetzt sich die ausserordentliche Kleinheit der noch empfindbaren Bilder der Annahme, dass ein so beträcht-

liches Netzhautstück, wie die Eintrittsstelle des Sehnerven, der Empfindung entbehren sollte.

Bekanntlich bewies Mariotte, dass Punkte, in einer gewissen Lage dem Auge gegenüber, nicht gesehen werden, und Bernoulli fand, dass der Theil der Netzhaut, welcher den Punkt nicht empfinde, der Eintrittsstelle des Sehnerven entspreche. Rudolphi vermuthet, dass nicht der Sehnerv, sondern die *arteria centralis retinae* die empfindungslose Stelle vermittele, und hatte wahrscheinlich Recht. Ich fand den Diameter des Sehnerven, nahe an der *sclerotica* und nach Hinwegnahme seiner Scheide, 0,14″ und es würde nun in einer Entfernung von 10,466″ vom Drehpunkte ein Object von 4,144″ Diameter unbemerkt bleiben, wenn sein Bild auf die Eintrittsstelle des Sehnerven fiele. Die Beobachtung ist dem entgegen. Halte ich ein Blatt Papier 10″ weit vor das Auge, so darf eine schwarze Scheibe auf jenem noch nicht 1,5″ im Durchmesser haben, wenn sie unter irgend einer Stellung vollkommen verschwinden soll.

Die Partie der Netzhaut, welche ungeeignet zum Empfinden ist, müsste demnach drei Mal kleiner sein, als die Eintrittsstelle des Sehnerven. Die *arteria centralis retinae*, wenn man den Zustand lebendiger Ausdehnung und das sie umgebende Zellgewebe in Anschlag bringt, muss diesem Maasse sehr nah kommen, und so ist es nicht nöthig, zu Purkinje's Erklärung seine Zuflucht zu nehmen, dass die Eintrittsstelle des Gesichtsnerven zwar Licht empfinden, nicht aber ein Bild wahrzunehmen im Stande sei.

Kapitel VIII.

Ueber Scheiners Versuch.

Scheiner stach in ein Kartenblatt 2 Löcherchen, näher an einander als die Pupille im Diameter beträgt, und beobachtete die Erscheinungen, welche entstehen, wenn das Auge durch diese Löcher Objecte betrachtet. Porterfield, Young, Purkinje und ich selbst haben diese Versuche weiter fortgeführt, und die Ergebnisse scheinen mir für die Theorie des Sehens so wichtig, dass sie hier einen Platz finden mögen.

1) Sieht man durch die beschriebenen Löcher in den hellen Himmel, so bemerkt man zwei lichte Kreise, welche theilweise sich decken, und da wo sie sich decken, eine lichtere Stelle bedingen als da, wo sie sich nicht decken. Offenbar hängt die grössere Helligkeit der sich deckenden Kreisausschnitte davon ab, dass das durch ein Loch einfallende Licht eine Stelle der Netzhaut bescheint, welche theilweise schon von dem andern Loche aus Licht erhielt, daher sie, in doppelter Beleuchtung, eine hellere Erscheinung gewährt, als die Stellen der *retina*, welche nur von einem Loche aus beleuchtet werden.

2) Die Grösse der genannten Lichtkreise hängt hauptsächlich von dem Durchmesser der Pupille ab. Daher zeigen die Lichtkreise Undulationen, welche den Bewegungen der Pupille entsprechen, und in gewissen Fällen ein schätzbares Mittel abgeben, diese Bewegungen zu beobachten. Erweitert sich die Pupille, so verbreitet sich die durch jedes Kartenloch einfallende Lichtpyramide, die auf der Netzhaut bewirkten Lichtscheiben verbreiten sich ebenfalls, decken sich also in vermehrtem Maassstabe, und so wird

die Ausdehnung der Pupille erkannt durch Zunahme der bei Nr. 1. erwähnten lichteren Stelle.

3) Betrachtet man ein Object durch die Kartenlöcher so, dass sein Bild in der doppelt beschienenen Stelle der Lichtkreise schwebt, so erscheint es unter einer gewissen Entfernung einfach, bei grösserer Nähe oder grösserer Ferne dagegen doppelt.

4) Sticht man in den Raum einer Pupillengrösse mehrere Löcher in eine Karte und hält diese vor das Auge, so sieht man sämmtliche Lichtkreise in einer Stelle sich decken. Betrachtet man ein Object durch diese Stelle, so erscheint es in so viel Bildern, als Löcher vorhanden sind, vorausgesetzt, dass das Object sich nicht in einer gewissen Entfernung befindet, wo es einfach bleibt.

Die Erscheinung der Doppelbilder wird am deutlichsten, wenn das Object und der Hintergrund, auf welchem es wahrgenommen wird, in entgegengesetzter Beleuchtung stehen, und zwar eben so deutlich, wenn man ein helles Object auf dunklem Grunde, als wenn man ein dunkles Object auf hellem Grunde betrachtet.

6) Nicht blos Objecte, welche kleiner sind, als die Entfernung der beiden Löcher von einander, werden doppelt gesehen. 3 — 4 Zoll starke Aeste eines 25 Fuss von mir entfernten Baumes sah ich doppelt und durch einen hellen Zwischenraum vollständig getrennt. Gegenstände, welche so gross sind, dass ihr Bild auf der doppelt beschienenen Stelle der Netzhaut nicht Raum hat, können zwar nicht in gesonderten Doppelbildern erscheinen, allein die Duplicität des Phantoms giebt sich an den Rändern des Bildes durch Uebereinanderschiebung der Konture unzweifelhaft zu erkennen.

7) Wenn ich 5″ vom Auge 2 nahe nebeneinander

gesteckte Nadeln durch 2 Löcherchen betrachte, so sehe ich beide Nadeln im Doppelbilde, also 4 Phantome *).

8) Bei gleich unpassender Entfernung des Objects sind die Doppelbilder um so mehr von einander getrennt, je grösser der Raum zwischen den Löchern ist, durch welche man durchblickt. Von 4 Phantomen, welche durch 4 nebeneinander liegende Löcher gesehen werden, gehören die beiden nach Aussen gelegenen den äussersten Löchern an.

9) Bei gleicher Entfernung der beiden Löcher, durch welche man sieht, sind die Doppelbilder um so entfernter von einander, je mehr sich das Object von der Stelle, wo es einfach gesehen wird, in der Richtung der Augenachse entfernt, gleichviel ob abwärts vom Auge oder zuwärts. Hierauf beruht das von Young beschriebene Phänomen, dass ein Faden, welcher so ausgespannt ist, dass ein Ende desselben dem Auge näher, das andere ferner ist, durch 2 Kartenlöcher das Ansehen eines doppelten, sich kreuzenden Fadens gewinnt.

10) Die Erscheinung, dass Objecte durch 2 Kartenlöcher in gewissen Entfernungen einfach, in andern doppelt gesehen werden, hängt damit zusammen, dass die Krystallinse die Lichtstrahlen solcher Objecte, welche in passender Entfernung vom Auge liegen, in einem Punkte der Netzhaut vereinigt, während sie die Lichtstrahlen zu naher Gegenstände hinter der *retina*, zu ferner Gegenstände aber vor ihr vereinigt.

A) Einfachsehen in Scheiners Versuch

*) Daher kann ich die von Treviranus gemachte Beschränkung nicht einräumen, dass man nur doppelt sehe, wenn das Object und der Zwischenraum, der beide Kartenlöcher trennt, in der Achse des Auges lägen. Natürlich musste von beiden nebeneinander befindlichen Nadeln wenigstens eine ausserhalb dieser Achse liegen.

(*Conf. Fig.* 10 *Tab. II.*). Liegt der Gegenstand a in passender Entfernung vom Auge, so wird das von ihm ausgehende Lichtbündel in einem Punkte vereinigt, daher auch die durch die Kartenlöcher l m einfallenden Lichtstrahlen a l, a m in dem Punkte x zusammentreffen müssen. Der Eine beleuchtete Netzhautpunkt bedingt eine Einfache Gesichtserscheinung.

B) Doppelsehen in Scheiners Versuch, bei zu grosser Nähe des Objectes (*Conf. Fig.* 10 *Tab. II.*). Es sei b der zu nahe Gegenstand, dessen Lichtstrahlen nicht auf der *retina* R R, sondern erst hinter ihr, bei y, vereinigt werden. Der von b durch die Oeffnung l einfallende Strahl trifft auf seinem Wege nach y die Netzhaut bei c, und gleicherweise trifft der Strahl b m die Netzhaut bei c′. Demnach wird die Netzhaut an 2 verschiedenen Punkten von Licht getroffen, wodurch 2 Gesichtserscheinungen bedingt werden.

In Uebereinstimmung mit dieser Erklärung verschwindet, bei Betrachtung eines zu nahen Objectes, das obere Doppelbild, wenn man das untere Kartenloch schliesst, überhaupt bei Verschluss des Loches der einen Seite, das Phantom der entgegengesetzten. Denn da die Oertlichkeit in unsern Gesichtserscheinungen in umgekehrtem Verhältnisse zu der Lage des Bildes auf der *retina* steht (das Unten des Netzhautbildes entspricht dem Oben des Objectes), so muss das Doppelbild oberhalb der Sehachse abhängen von einem Nervenpunkte unterhalb, und erhält dieser Punkt unterhalb der Sehachse (c′) sein Licht durch das untere Kartenloch (m), so muss Verstopfung des untern Loches Verschwinden des obern Bildes veranlassen.

C) Doppelsehen in Scheiners Versuch bei

zu grosser Entfernung des Objectes (*Conf. Tab. II. Fig.* 10.). Es sei e der zu ferne Gegenstand, dessen Lichtstrahlen schon vor der Netzhaut bei z vereinigt werden. Der durch l einfallende Strahl e l geht durch z nach c′, während der Strahl e m durch z nach c geht. Die beiden beleuchteten Netzhautpunkte c′ und c bedingen 2 gesonderte Bilder.

In Uebereinstimmung mit dieser Erklärungsweise verschwindet, wenn ein zu ferner Gegenstand betrachtet wird, bei Zuhalten eines Kartenlochs jedesmal das Doppelbild derselben Seite. Das untere Kartenloch m bedingt nach der Erklärung das obere Netzhautbild c, und da das obere Netzhautbild Bedingniss des untern Doppelbildes ist, so entspricht es der Voraussetzung, dass mit Zuhalten des untern Loches das untere Bild schwindet.

D) Erläuterung des Versuches von Young*). Es sei (*Tab. II. Fig.* 7) l m ein Faden, auf welchem das Auge durch 2 Kartenlöcher r s in der Richtung von l nach m hinvisiert.

Liegt der Punkt c in passender Entfernung vom Auge (s. oben A), so muss er einfach erscheinen. Der Punkt a dagegen, als dem Auge zu nahe liegend, vereinigt seine Lichtstrahlen erst hinter der Netzhaut, es wird diese an 2 Stellen beleuchtet und bedingt demnach 2 Bilder bei a′ und a″, nach demselben Gesetze, wie in *Fig.* 10. *Tab. II.* der Punkt b doppelt erschien (s. oben B). Ein noch näher liegender Punkt des Fadens b, erzeugt nicht nur auch ein Doppelbild bei b′ und b″, sondern es stehen nach Nr. 9 diese Doppelbilder weiter auseinander, als die von a. Die

*) Conf. Philosoph. transact. Year 1801.

Punkte d und e, als dem Auge zu fern liegend, vereinigen ihre Strahlen schon vor der Netzhaut, treffen also diese an 2 verschiedenen Punkten, und erzeugen Doppelbilder, d bei d′ und d″; e bei e′ und e″, nach demselben Gesetze, wie der Punkt e in *Fig.* 10 *Tab. II.* (s. oben C). Da nun jeder Punkt des Fadens l m, den einzigen c ausgenommen, doppelt gesehen wird, und da jeder Punkt in einem um so getrennteren Doppelbilde erscheint, je weiter er sich von c, entweder abwärts vom Auge oder zuwärts, entfernt, so entsteht die Erscheinung zweier sich kreuzenden Fäden b′ e″ und b″ e′.

In Uebereinstimmung mit der gegebenen Erklärung verschwindet bei Zuhalten des Loches s der ganze Faden b′ e″, d. h. es verschwindet bei Verschluss eines Loches das Doppelbild des zu nahe liegenden Fadens l c auf der entgegengesetzten, und das Doppelbild des zu fern liegenden c m auf der nämlichen Seite. Man vergleiche die gegebene Erläuterung bei B und C.

Wenn man statt eines Fadens 4 in paralleler Richtung und nah aneinander aufspannt, so sieht man 4 sich kreuzende Fäden, deren Kreuzungsstellen unter gleicher Entfernung vom Auge liegen (S. pag. 34 die Anmerk.).

11) Purkinje *) hat meines Wissens zuerst gezeigt, dass in Scheiners Versuch sich eine gewisse Chromasie des Auges zu erkennen giebt. Wenn man eine Nadel durch 2 Kartenlöcher in zu grosser Nähe vom Auge betrachtet und doppelt sieht, so erscheinen die Nadeln von farbigen Rändern umgeben. Die Farben verschwinden, wenn man die Nadel bis auf den Punkt entfernt, wo sie

*) Purkinje, Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne. Berlin 1825. S. 185.

einfach erscheint, kommen aber wieder, nur in umgekehrter Ordnung, wenn man bei nochmals vermehrter Entfernung von neuem Doppelbilder veranlasst.

Die Farben, welche zum Vorschein kommen, scheinen nicht für jedes Auge und nicht unter allen Umständen dieselben zu sein. Wenigstens weicht das, was ich sehe, von dem, was Purkinje beschrieben, ein wenig ab.

Das Doppelbild einer zu nah gesteckten Stecknadel erscheint mir bläulich. Je mehr ich die Nadel entferne und je mehr in Folge dessen die Phantome sich nähern, um so deutlicher wird am innern Rande jedes Nadelbildes ein gelber Saum. Rücken die Nadeln noch näher an einander, so dass die Köpfe bereits in einander greifen, so sehe ich die sich deckende Partie der Nadeln grün mit rothem Saume, und der ganze Zwischenraum zwischen den Doppelbildern ist gelb. Treten die Bilder so nah zusammen, dass auch die Stiele der Nadeln sich anfangen zu decken, so gewinnt die Partie, welche sich deckt, eine blutrothe Farbe, mit gelbem Saume. Wird die noch weiter entfernte Nadel in der Erscheinung einfach, so ist ihre Farbe dunkel, ein wenig in's Violette spielend. Zerfällt die Nadel wegen zu grosser Entfernung in 2 Bilder, so sehe ich den freien Raum zwischen ihnen hellblau, die Nadeln selbst nicht deutlich farbig, aber nach Aussen mit einem rothen, und zu äusserst mit einem gelben Rande umgeben.

Kapitel IX.

Von der Richtung des Sehens.

Wir sehen die Gegenstände der Aussenwelt in Richtungen, von welchen wir anzunehmen geneigt sind, dass ihnen objective Wahrheit zum Grunde liege. Denn der schlichte Menschenverstand begreift nicht, wie ein zum Sehen bestimmtes Organ in sich selbst den Grund zum örtlichen Falsch-Sehen enthalten könne.

Indess genügen solche Gründe der Wissenschaft allerdings nicht. Anlangend den Tastsinn, so bestätigt er zwar, dass wir die verschiedenen Objecte in ihren wahren wechselseitigen Verhältnissen, z. B. die 3 Fingerglieder in ihrer natürlichen Folge nach einander erblicken, allein ungewiss bleibt es, ob nicht das Auge, so wohl das Tastende als Betastete, an einen falschen Ort versetzt, und ob das richtige Greifen nach einem gesehenen Gegenstande, auf ursprünglicher Harmonie beider Sinnesthätigkeiten, oder vielmehr auf Gewöhnung beider aneinander beruhe. Der arge Irrthum von Fr. Müller*), dass schon das Treffen mit Feuergewehren zeige, wie der Gegenstand in der Luft sich da befinde, wo die Seele ihn aufsuche, bedarf keiner Widerlegung.

Die Ansichten über die Realität der Richtung, in welcher wir sehn, sind aber getheilt. Tourtual hält die Frage für unentschieden**), Bartels***) hat sogar zu beweisen gesucht, dass wir kein Object ausserhalb der Augenachse da sähen, wo es wäre, und die Theorie von Treviranus inkludirt unverkennbar dieselbe Behauptung.

---

*) Anat. physiol. Darstellung des menschlichen Auges. Wien, 1819.
**) Die Sinne des Menschen. Münster 1827. S. 185.
***) a. a. O. 3tes. Cap. besonders S. 66.

Auf die Basis der im 4ten und 5ten Capitel mitgetheilten Frfahrungsgrundsätze lässt sich nun folgerecht der Schluss bauen, dass wir die Objecte wirklich da sehen, wo sie sind; es ist bewiesen worden, dass sich das Auge um den Kreuzungspunkt der Richtungsstrahlen dreht (S. Cap. V. Beweis 1.); es hat sich gefunden, dass sich das Auge um den Kreuzungspunkt der Sehstrahlen dreht (S. Cap. V. Beweis 1, 2 und 3); da nun Drehung um zwei gesonderte Punkte unmöglich ist, so müssen jene Punkte zusammenfallen in Einem Drehpunkt. Nun fallen aber Richtungsstrahl und Sehstrahl noch in einem zweiten Punkte zusammen, nämlich in dem beleuchteten Punkte der Netzhaut, welcher als Endpunkt des Richtungsstrahls und Anfangspunkt des Sehstrahls sich darstellt.

Es haben demnach Richtungsstrahl und Sehstrahl 2 gemeinschaftliche Punkte, und da 2 Punkte genügen, um die Richtung einer geraden Linie zu bestimmen, so fallen jene beiden Strahlen zusammen, was eben nichts anders heist, als dass wir die Dinge sehen, wo sie sind.

Mit dieser Theorie käme nun die Wissenschaft auf die ursprüngliche Aussage des schlichten Menschenverstandes zurück, ein Zusammentreffen, welches zwar nicht beweisende Kraft hat, aber jeden Falls von günstiger Bedeutung ist.

Bartels Theorie, dass der Sehstrahl neben dem Objecte vorbeigehe, beruht auf willkührlichen Voraussetzungen, wie weiter unten zu zeigen.

Porterfield suchte die Richtung des Sehstrahls geometrisch zu bestimmen, und behauptete, die *retina* empfinde in senkrechter Richtung, oder mit andern Worten, der Sehstrahl stehe auf der Tangente des empfindenden Netzhaut-Punktes normal. Diese Behauptung ist neuerlich von Bartels wiederholt worden.

Was Porterfield anlangt, so zeigt er, wie ein oberer Punkt der *retina* unfehlbar ein objectiv Unteres, ein unterer Punkt derselben aber unfehlbar ein Oberes sehe, und zwar ganz unabhängig vom Gange des einfallenden Lichtes. Demnach kreuzen sich die Sehstrahlen in der Hohlkugel des Auges, und ihre Stellung auf der konkaven Netzhaut muss der senkrechten wenigstens nahe kommen. Porterfield ist vorsichtig genug gewesen, nur eine solche Annäherung an die senkrechte Stellung zu behaupten, da es ihm an einem strengeren geometrischen Beweise fehlte. Bartels hat sich bestimmter ausgedrückt, und die senkrechte Richtung des Sehstrahls geradezu behauptet, ohne meines Erachtens einen einzigen Beweis dafür anzugeben.

Alle Theorien sind darüber einverstanden, und wir haben es auf empirischem Wege anschaulich gemacht (Cap. IV. Versuch 6), dass alle Sehstrahlen sich im Innern des Auges in Einem Punkte kreuzen. Sollte nun jeder Sehstrahl senkrecht auf dem empfindenden Punkte stehen, so müssten alle empfindenden Punkte kreisförmig um jenen einen Kreuzungspunkt gelagert, kurz die Netzhaut müsste sphärisch sein. Hierüber hat weder Porterfield noch Bartels Untersuchungen angestellt, nur hat es letzterer vorausgesetzt. Indess hat Treviranus *) gefunden, dass bei den Säugethieren die Curve der Netzhaut am meisten Aehnlichkeit mit einer Epicycloide hat, welche hervorgebracht wird, wenn man einen Kreis, dessen Durchmesser die Achse des Glaskörpers ist, um die hintere Krümmung der Linse wälzt. Die Tafeln des jüngern Sömmerring **) zeigen beim ersten Blick, dass, bei der Mehrzahl der abge-

*) l. c. pag. 68.

**) de oculorum hominis animaliumque sectione horizont. Göttingae 1818.

bildeten Augen, an eine sphärische Gestalt der Netzhaut nicht zu denken ist. Bei den meisten Thieren scheint die Partie, welche der Sehachse zunächst liegt, einer weit grössern Kugel anzugehören, als die entfernteren Theile.

Aber selbst wenn die Netzhautkrümmung sphärisch wäre, müsste erst erwiesen werden, dass ihr Centrum und der gemeinschaftliche Kreuzungspunkt aller Sehstrahlen, den wir Drehpunkt genannt haben, zusammenfielen.

Berechne ich den innern Durchmesser meines Auges nach Treviranus Tafeln im Mittel zu 0,789″, so müsste der Radius der Netzhautkrümmung zur Hälfte dieser Grösse mit 0,3945 angenommen werden, und folglich müsste auch der Drehpunkt des Auges 0,3945″ vom Achsenpunkt der Netzhaut entfernt sein. Er ist aber blos 0,353″ entfernt, wenn nach Treviranus folgende Annahmen gelten. Es ist die Dicke der Hornhaut im Mittel 0,030″, die innere Achse des Auges im Mittel 0,789″, beide Grössen zusammen 0,819″, als Entfernung des vordersten Punktes der Hornhaut vom Achsenpunkte der Netzhaut. Da nun nach Cap. IV. der Drehpunkt vom vordersten Punkt der Hornhaut im Mittel 0,466 entfernt ist, so kann er ebenfalls im Mittel nur 0,353″ von der Netzhaut entfernt sein. Hiernach träfe der Drehpunkt des Auges, in welchem alle Sehstrahlen sich schneiden, mit dem Centrum der Netzhautkrümmung bis auf die geringe Differenz von 0,04″ zusammen, welche Differenz allerdings eine Folge von Beobachtungsfehlern sein könnte. Im Kaninchenauge dagegen liegt der Drehpunkt bestimmt nicht im Centrum der Netzhautkrümmung, sondern vor diesem. Nachdem ich an einem Kaninchenauge den Drehpunkt bestimmt hatte, goss ich es so weit in Gips ein, dass genau die Hälfte in der erhärtenden Masse fixiert wurde. Die vorspringende freie Hälfte schnitt ich dann so sorgfältig

als möglich ab, reinigte die im Gipse verbliebene Halbkugel von ihrem Inhalt, mit aller Vorsicht, und goss sie mit Gips aus. Die erhaltene Form gab nun ein genaues Bild vom Auge im horizontalen Durchschnitt. Auf diesem Wege fand sich, dass die innere Augenachse, mit Hinzurechnung des Durchmessers der Hornhaut, 0,64″ betrage. Der Drehpunkt lag 0,30″ hinter dem vordersten Punkte der Hornhaut, und folglich 0,34″ vor dem Achsenpunkte der Netzhaut. Es war also 0,34″ die Länge des Halbmessers eines Kreises, wie der hätte sein müssen, für welchen der gefundene Drehpunkt als Centrum hätte gelten können. Ich zog einen solchen Kreis, der aber noch grösser als das Auge mit seinen Hüllen ausfiel, und bestätigte, was mir schon das blosse Auge bei Bestimmung des Drehpunktes gesagt hatte, dass dieser Punkt im Auge viel zu weit nach vorn liegt, um Centrum der Netzhaut sein zu können.

Es sind also Thatsachen welche beweisen, dass die Netzhaut nicht concentrisch um den Kreuzungspunkt der Sehstrahlen gelagert ist, und folglich stehen diese auch nicht normal auf der Netzhaut. Zwar hat Bartels (a. a. O. S. 20) es als Grundwahrheit aufgestellt, dass eine empfindende Fläche das Empfundene sich senkrecht gegenüber stelle, aber hierin eben irrte er, weil der fragliche Punkt durch Demonstrationen *a priori* gar nicht erörtert werden kann. Indem nun die Basis falsch ist, von welcher Bartels ausgeht, so fallen die Folgerungen, die er darauf gründet, von selbst zusammen. Hierher gehört vor allen Dingen die auffallende Theorie vom Verhalten der Strahlendirection zur Gesichtsdirection (a. a. O. S. 52.) „Nur die Empfindung des Achsenpunktes der Netzhaut hat in Bezug auf die Richtung objective Wahrheit, indem er das subjective Bild an den Ort des Objectes selbst projizirt. Alle übrigen Sehstrahlen

gehen neben den Objecten weg, und zwar um so mehr, je entfernter der empfindende Punkt vom Achsenpunkte ist." Der Verfasser experimentirte mit präparirten Thieraugen so, dass er von dem Bildchen auf der Netzhaut eine gerade Linie durch das Centrum des Auges zog und verlängerte, wobei sich auswies, dass diese Linie (von ihm als Sehstrahl angenommen) nicht auf das Object traf, von welchem das Netzhautbildchen abhing, sondern nach aussen an ihm vorbeiging. Waren die Versuche richtig*), so tragen sie wesentlich bei zu beweisen, dass die Sehstrahlen eben nicht durch das Centrum des Auges gehen, und wir folglich nicht senkrecht empfinden.

Aber auch Treviranus hat eine Theorie des Sehens aufgestellt, welche subjective Irrthümer in der Richtung des Sehens zulässt und in dieser, wie in mehreren andern Hinsichten, mit den hier aufgestellten Behauptungen in Widerspruch tritt.

Die Theorie von Treviranus, so weit ich sie aus dessen mehrmals erwähnten Beiträgen und aus gefälligen Privatmittheilungen kenne, ist folgende:

Es sei BP (*Fig.* 25 *Tab. III.*) die Augenachse, Q ein leuchtender Punkt, am scheinbaren Horizont H T; D das Bildchen von Q, auf der Netzhaut MN; I das Centrum der Netzhautkrümmung.

Eine von Q nach A gezogene Linie bestimmt die Richtung des Punktes Q, das heisst die Lage desselben am Ho-

---

*) Hierüber kann der Leser sich kein Urtheil bilden, weil der Verfasser sie nur sehr oberflächlich beschrieben. Namentlich bleibt räthselhaft, wie es möglich war, an einem undurchschnittenen Auge (nur mit diesem liess sich der dioptrische Versuch anstellen) das Centrum zu finden, durch welches, vom Bildchen aus, die Linie verlängert wurde, die nach der Behauptung am Objecte vorbeistreifte.

rizont H T in Beziehung auf den Punkt P, ausserhalb dem Auge; innerhalb dem letztern, für die Empfindung, wird aber die Richtung durch den Halbmesser I D der Netzhautkrümmung M N bestimmt, also durch eine gerade Linie, welche von dem Netzhautbildchen nach dem Mittelpunkte jener gezogen ist. Der Bogen P Q, von welchem die Lage des Punktes Q abhängt, ist das Maass eines Winkels, den die Augenachse P A B mit einer von Q nach einem gewissen Punkte des Auges gezogenen Linie macht. Wäre das innere Auge eine Materie von gleichförmiger Dichtigkeit, so würde dieser Punkt dahin zu setzen sein, wo die Augenachse von dem Strahl Q E des Punktes Q, der senkrecht auf die vordre brechende Fläche jenes Organs fiele, und also ungebrochen zur Netzhaut gelangte, in C geschnitten würde. Allein die durchsichtigen Theile des Auges haben verschieden brechende Kraft. Es giebt daher für dasselbe keinen Strahl wie den vorausgesetzten. — In Vergleichung mit dem Halbmesser C P des Horizonts H T ist aber der Halbmesser des Augapfels = o, und wenn Q A einen Strahl vorstellt, der zu dem vordern Ende A der Augenachse A B geht, so ist auch der Unterschied der Winkel Q A P und Q C P = o. Der Bogen P Q gehört also ebensowohl dem wirklichen Winkel Q A P als dem imaginären Q C P an. Ist nun D das Bild des Punktes Q auf der Netzhaut, so müssen sich in D alle von Q kommenden Strahlen vereinigen, also auch Q A. Der Weg des letztern lässt sich nun berechnen, und folglich lässt sich auch der Strahl Q A zur Bestimmung der Lage des Punktes L benutzen Nun ist weiter der Bogen B D dem Bogen P Q analog, indem D auf der Netzhaut dieselbe Lage gegen B hat, wie Q am Horizont gegen P. Gäbe es einen Strahl Q D, so würde Q C P und B C D einander gleich sein. Da es aber einen solchen Strahl nicht giebt, und da die Netz-

haut M N ihre eigne Kurvatur hat, so gehört, wenn I das Centrum der Netzhautkrümmung ist, zum Bogen B D der Winkel B I D und es erhält also die Netzhaut von dem Objecte Q einen Eindruck nach der Richtung I D.

Dies die Theorie von Treviranus, die ich, um möglichen Entstellungen vorzubeugen, im Wesentlichen mit den eignen Worten des Verfassers wiedergegeben habe. Ich kann nun bei aller Hochachtung, die ich vor den Verdiensten dieses ausgezeichneten Physiologen hege, meine Opposition zu seiner Lehre nicht leugnen, die, wie es mir vorkommt, mit Thatsachen in Widerspruch steht. Die Thatsachen, die ich meine, habe ich grösstentheils schon in dem Vorausgeschickten zu begründen versucht, und es kommt hier nur darauf an, noch einmal auf sie zurück zu weisen.

A. Die Lage des Objectes L (S. *Fig.* 25 *Tab. III.*) soll bestimmt werden durch die Linie Q A. Nach meiner Ansicht kann man von einer Linie nur dann behaupten, dass sie die Stellung des Netzhautbildchens bedinge, wenn, wie innerhalb der Augenachse, jeder in ihr liegende leuchtende Punkt, gleichviel ob nah oder fern dem Auge, seine divergierenden Lichtstrahlen in demselben Punkte der Netzhaut wieder vereinigen muss. Solche Linien sind ausser der verlängerten Augenachse die oben bezeichneten Richtungsstrahlen (S. Kap. IV. Vers. 2. 3.). Eine Linie dagegen, welche vom Object aus zu dem vordersten Punkte der Augenachse gezogen wird, hat die hier geforderte Eigenschaft nicht (Kap. IV. Vers. 4), obschon Treviranus nach seinen oben zitirten Worten (Kap. IV. S. 27) dies vorauszusetzen scheint.

B. Bestimmt I D die Richtungslinie des Gesichts, so wird das Object Q nicht bei Q, in seiner wahren Lage, sondern bei R gesehen. Dagegen haben wir aus Erfahrungs-

sätzen den Schluss ziehen müssen, dass wir die Gegenstände da sehen, wo sie wirklich sind (S. dieses Kap. im Anfange). Treviranus leugnet die Möglichkeit, dass Q in der Richtung D Q gesehen werden könne, weil in dieser Richtung kein Lichtstrahl durch die differenten Medien des Auges eindringe, allein schon Porterfield hat bewiesen, dass die Richtung des Sehens von der Richtung des Lichtstrahls, welcher das Sehen veranlasst, durchaus unabhängig ist (S. Unten). Es wird behauptet, D müsse in der Richtung I D empfunden werden, denn die Lage des Punktes D zu dem Achsenpunkte der Netzhaut B, werde bedingt durch den Bogen B D, welcher, wenn I das Centrum dieses Bogens ist, gemessen wird durch den Halbmesser I D. Hiergegen ist zu bemerken: Erstens, der Bogen B D bestimmt zwar allerdings die Entfernung des Punktes D von B, und in der Erscheinung die Entfernung des Gegenstandes vom Achsenpunkte des Gesichtsfeldes, allein hiermit ist eine Bestimmung der Richtung durchaus nicht gegeben. Derselbe Bogen B D würde gestatten A eben so weit unter oder neben der Sehachse zu sehen, als es wirklich über ihr liegt, wenn nicht der Netzhautpunkt D genöthigt wäre dem Objekte Q, ausser einer bestimmten Entfernung von P, auch noch eine bestimmte Lage anzuweisen. Wie nun aus mathematischen Grundsätzen sich nicht erweisen lässt, dass die subjectiven Sehstrahlen die Augenachse kreuzen müssen, so ist noch viel weniger zu beweisen, dass sie gerade im Centrum der Netzhaut I sich kreuzen müssen. Wie es nur *a posteriori* bekannt ist, dass die untere Hälfte der Netzhaut, zufolge organischer Bedingungen, ihre Empfindung nach oben versetzt, so könnte es nur *a posteriori* bekannt sein, wenn D seine Empfindung durch den Mittelpunkt I in die Aussenwelt trüge. Treviranus hat keine Erfahrungen an-

gegeben welche bewiesen, dass die Sehstrahlen im Centrum der Netzhautkrümmung sich kreuzten, und meine Beobachtungen sprechen gegen die Allgemeinheit einer solchen Kreuzung.

Zweitens: Müssen wir wiederholen, was wir schon gegen Bartels geltend machten, dass ein Centrum der Netzhautkrümmung oft gar nicht vorhanden ist. Es ist sehr auffallend, dass Treviranus diesen Umstand selbst hervorhebt. Hat die Netzhaut, wie er angiebt, in gewissen Augen die Gestalt einer Epicycloide, so hätten wir eine Linie vor uns, welche in jedem Punkte ihr Centrum ändert. Wenn nun dennoch jeder beleuchtete Punkt der Netzhaut im Empfinden durch sein Centrum bestimmt werden sollte, so würden die Sehstrahlen sich in unzähligen verschiednen Punkten kreuzen müssen. Dies findet aber nicht Statt, denn wir haben gesehen, dass nur ein Kreuzungspunkt existire (Kap. IV. 8.), es konnte aber auch nicht Statt finden, weil eine solche Einrichtung eine gänzliche Verwirrung im Gesichtsfelde hervorgerufen haben würde. Die beiden Thatsachen, dass die Netzhaut sich nicht sphärisch um ein Centrum lagert, und dass alle Sehstrahlen sich in einem einzigen Punkte kreuzen, beweisen wieder, dass die Richtung des Sehens nicht durch den Mittelpunktswinkel B I D (*Fig.* 25 *Tab. III.*) bestimmt wird.

In dem Vorhergehenden ist das Sehen der Richtung in seinen Erscheinungen und deren Gesetzlichkeit betrachtet worden, es bleibt nun die Untersuchung des Causalverhältnisses übrig. Die Beantwortung einer nothwendigen Vorfrage, ob die Wahrnehmung der Richtung überhaupt Sache des Sinnes sei, oder, wie J. Müller annimmt, des Verstandes, ergiebt sich für uns aus weiter oben entwickelten Grundsätzen. Ist das Objectiviren der Gesichtsempfindungen

ein einfacher Sinnenact, so ist es das Sehen der Richtung ebenfalls, denn mit dem Setzen nach Aussen ist das Setzen in einer gewissen Direction unzertrennlich verbunden. Die Missgriffe im Tasten nach Körpern, welche operirte Blindgeborne begehen, beweisen nicht, dass das Wahrnehmen der Richtung durch Uebung erlernt werden müsse, sondern nur, dass wir der Uebung bedürfen, um die Bewegungsdirection der Empfindungsdirection anzupassen. Dass die Wahrnehmung der Richtung ein unmittelbarer Ausfluss der Sinnlichkeit, nicht aber ein Resultat combinirter Erfahrung ist, beweist auch hier den Zwang der Empfindung, der durch keinen Einspruch, wie begründet er auch sei, sich bändigen lässt. Mögen wir auch noch so bestimmt wissen, dass die sinkende Sonne schon unter dem Horizonte steht, die Empfindung, als sei sie über ihm, bleibt ungeschwächt.

Die Empfindung der Richtung wird nie sachgemäss erklärt werden, wenn man, wie selbst unter den Neuern Mehrere, annimmt, die Netzhaut empfinde, von woher das Licht komme. Dieser Irrthum ist schon von Porterfield bündig widerlegt worden, wie sich aus den mitgetheilten Versuchen Kap. VIII. Nr. 10 ergiebt. Beim Betrachten eines Objectes durch 2 Kartenlöcher kann, je nach der Entfernung desselben, ein gewisser Punkt der Netzhaut von verschiedenen Seiten her sein Licht empfangen, empfindet aber, ungeachtet des verschiedenen Lichtganges, immer in derselben Direction.

Es sei b in *Fig.* 10 *Tab. II.* ein zu nahe liegender Gegenstand, dessen Strahlen b d, und b d′ erst hinter der *retina* R R bei y vereinigt werden und demnach die Netzhaut bei c c′ treffen. Diese Netzhautpunkte projiziren die Empfindung durch den Drehpunkt des Auges t nach

u u'. Hätte man einen zu weit liegenden Gegenstand e betrachtet, dessen Strahlen e d, e d' schon vor der Netzhaut bei z sich kreuzten und folglich die Netzhaut bei c c' träfen, so würden die Sehstrahlen wiederum durch den Drehpunkt des Auges ihre Empfindung nach u u' versetzen. Dennoch hat der Licht-Strahl d c denselben Effect als d' c, ungeachtet des verschiedenen Ganges.

Ich habe, um die Anschaulichkeit des Vorstehenden zu vermehren, den Versuch so eingerichtet, dass zwei Objecte, welche in verschiedenen Richtungen ihre Strahlen ins Auge sendeten, gleichzeitig an ein und demselben Orte gesehen wurden.

Es sei *Fig.* 11 *Tab. II.* c b a die Augenachse, m ein Kartenloch in der Linie der Augenachse, l ein zweites, mehr seitlich gelegenes Kartenloch; bei a, in der Linie der Augenachse, werde eine Stecknadel so weit vom Auge befestigt, dass sie durch beide Kartenlöcher e i n f a c h erscheint; eine zweite Nadel befestige man bei b nah genug dem Auge, dass sie doppelt erscheint. Zweckmässig ist, Nadeln von verschiedener Farbe zu nehmen.

Das Auge sieht nun Folgendes: bei a die Stecknadel a selbst, und nebelartig darüberschwebend das eine Doppelbild der Nadel b, ferner bei b' das zweite Doppelbild der zu nahen Nadel b. Der Lichtkegel, welcher von dieser ausgeht, kann nicht auf der Netzhaut, sondern erst hinter dieser bei x vereinigt werden. Der eine Lichtstrahl geht von b in der Richtung der Augenachse durch die Oeffnung m nach x und trifft den Achsenpunkt des Auges c. Ein zweites Lichtbündel fällt von b durch die Oeffnung l ins Auge, wird von e nach x zu gebrochen, und trifft die Netzhaut bei d. Der Punkt c projizirt seine Empfindung durch den Drehpunkt M nach a, der Punkt d nach b'. —

Die entferntere Nadel a sendet ein Lichtbündel in der Richtung der Augenachse, welches jedoch, von der Nadel b aufgefangen, nicht in das Auge gelangt. Ein zweites Lichtbündel fällt von a durch die Oeffnung 1 ein, und wird von e nach c gebrochen. Da nämlich die entferntere Nadel in der rechten Sehweite angebracht ist, so müssen alle von ihr ausgehenden Lichtstrahlen im Achsenpunkte des Auges c Vereinigung finden. Das bei c entstandene zweite Bild wird nun wieder durch den Drehpunkt M nach a projizirt, und so entstehen an demselben Orte zwei ineinander schwebende Bilder, hervorgerufen durch 2 Lichtstrahlen von verschiedener Richtung, nämlich durch m c und e c. — Die angeführten Beobachtungen beweisen folgende Sätze:

I. Die Richtung der Empfindung ist unabhängig von der Richtung des Lichtstrahls, der die Empfindung hervorrief. Hiermit widerlegt sich auch die Hypothese, dass der Lichtstrahl die Netzhaut in ihrer ganzen Dicke durchdringe, und dass die Nervenhaut die Richtung des zurückgelegten Weges empfinde.

II. Die Richtung der Empfindung ist subjectiv begründet durch die Lage der empfindenden Stelle zum Drehpunkt, welchen letzteren der Sehstrahl, in Folge eingeborner Gesetze, schneidet.

Eine speziellere Darstellung des Causalverhältnisses scheint mir, wenigstens nach dem jetzigen Standpunkte unseres Wissens, nicht möglich. Die Frage nach dem Grunde des Vermögens, die Richtung der Gesichtsobjecte wahrzunehmen, fällt zusammen mit der, warum überhaupt zwischen Object und Sinnesorgan ein Verhältniss bestehe, durch welches eine Anschauung, die dem Object entspricht,

hervorgebracht werde. Die Physiologie steht hier an der Grenze ihres Wissens. Das Wunder beginnt damit, dass das Bild des Objects stets die Stelle der Netzhaut trifft, welche mit dem Drehpunkt des Auges und dem Object in einer geraden Linie liegt. Nicht mehr und nicht weniger wunderbar ist es, dass die getroffene Netzhautstelle den Sehstrahl durch denselben Drehpunkt dem Objecte zusendet. Die Erscheinung, dass die Sehkraft der Netzhaut sich dem Drehpunkte des Auges eben so zuwende, wie die Schwerkraft dem Rotationspunkt der Himmelskörper, mag als Parallele einige Berücksichtigung verdienen, scheint aber bei Erklärung der Thatsache unfruchtbar.

Nach oben entwickelten Grundsätzen sind Irrthümer im Wahrnehmen der Richtung nicht möglich, indem jeder Punkt der Netzhaut nach einem festen Gesetze seine Empfindung in die Aussenwelt überträgt. Gleichwohl giebt es Erscheinungen, die der Vermuthung Raum geben könnten, als fänden gewisse Täuschungen doch Statt.

Ich wiederholte Purkinje's merkwürdige Untersuchungen über die Verwandlung der Farben in den seitlichen Theilen des Gesichtsfeldes. Wie Purkinje bediente ich mich einer Pappenscheibe, welche einen Ausschnitt von der Form des Gesichts hatte, so dass sie unter den Augen in horizontaler Richtung bequem und fest angesetzt werden konnte. Von der Stelle an, wo das rechte Auge an die Scheibe grenzte, war eine gerade Linie nach vorn gezogen, und am Ende mit einer aufrechten Spitze bezeichnet. Die Scheibe war in Grade getheilt, welche von der genannten Spitze an nach rechts von 1 — 90° beziffert waren. Auf der Scheibe drehte sich ein Stab, wie der Weiser auf einer Uhr. Der Drehpunkt des Stabes war die Stelle der Scheibe, welche beim Ansetzen des Instrumentes senkrecht un-

ter dem rechten Auge lag. Am Ende des Stabes, der als Gradweiser diente, befestigte ich in lothrechter Richtung ein Bretchen von $1\frac{1}{2}''$ Breite, auf welchem 3 senkrechte Farbenstreifen, jeder $\frac{1}{2}''$ breit, aufgemalt waren. Da der Gradweiser $10''$ lang war, so nahm jeder Farbenstreifen ungefähr 3° des Quadranten in Anspruch. Mit Hülfe dieses Apparates operirte ich auf folgende Weise:

Ich setzte die Scheibe mit ihrem Ausschnitt fest an das Gesicht, nachdem ich den Weiser um mehr als 90° nach aussen und rückwärts gedreht hatte, dann fixirte ich die oben genannte Spitze mit dem allein geöffneten rechten Auge, und drehte den Weiser so, dass das bunte Bretchen allmählig von aussen nach vorn die 90° des Gesichtsfeldes durchlaufen musste. Hierbei fand sich, dass zwischen 30° und 70° häufig Täuschungen über die Reihefolge der Farben eintraten, d. h. ich hielt einen Farbenstreifen für näher an der Augenachse gelegen als einen andern, obschon das umgekehrte Verhältniss statt fand.

Ein Bretchen, auf welchem von Innen nach Aussen gerechnet die Farbenstreifen grün, gelb, zinnober folgten, erschien mir unter einem Winkel von 55 Grad *) gelb, orange, grün. 2) Auf dieselbe Weise betrachtet erschienen dunkel Rosa, Gelb, Blau, unter 70° gelb, blau, orange, unter 65° aber gelb, rosa, blau. 3) Es erschien blau, gelb, rosa unter 55° blau, rosa, gelb. 4) Leuchtendes Grün, Blau, Zinnober unter 65° grün, orange, blau. 5) Zinnober, blau, grün unter 60° orange, blau, grün, aber unter 50° blau, orange, grün. 6) Blau, Schwarz, Rosa unter 60° schwarz, blau, röthlich.

---

*) Ich nenne den Grad, welcher auf die Mitte des Bretchens fiel.

Um die angeführten Beobachtungen recht zu würdigen, müssen noch folgende Punkte berücksichtigt werden:

1) Bei der Bewegung eines farbigen Körpers im Kreise von Aussen nach vorn, giebt sich das Eintreten desselben in's Gesichtsfeld, je nach der Beschaffenheit der Farbe, früher oder später zu erkennen. Am zeitigsten bemerkt man weiss, bereits unter einem Winkel von mehr als 90°, dann gelb, schwarz, blau, zinnoberroth, ponceau, grasgrün in der Ordnung wie sie hier folgen, unter Winkeln, die sich genau nicht angeben lassen, weil die Reizbarkeit des Auges, die Stärke der Beleuchtung und der Ton der Farbe beträchtliche Verschiedenheiten mit sich bringen. 2) Mit voller Bestimmtheit erkannte ich die Reihenfolge der Farbenstreifen erst unter einem Winkel von 30 bis 10°. Bei grösserem Winkel kostete die Entscheidung immer einiges Besinnen, und wenn endlich die Versetzung der Farbenstreifen anfing, so war die Empfindung keineswegs deutlich, sondern man fühlte die Möglichkeit des Irrthums, obschon der Versuch, mehrmals wiederholt, auf dieselbe Weise ausfiel. 3) Sehr häufig irrt man sich bei zu grossem Einfallswinkel des Lichtes über die Natur der Farbe; zinnoberroth erscheint schwarz u. s. w. wie schon Purkinje angegeben.

Die Täuschungen in den erwähnten Versuchen kommen auf Rechnung des Urtheils, nicht des Sinnes, d h. die Täuschung hängt nicht davon ab, dass die vom farbigen Lichte getroffenen Netzhautstellen ihre Empfindung durch andere Stellen als den Drehpunkt des Auges projiziren. Das Sehvermögen der seitlichen Theile der Netzhaut ist ein höchst unvollkommnes, sie sind unfähig, über Form und Farbe der Körper entsprechende oder überhaupt nur deutliche Vorstellungen zu erwecken, und so vervollstän-

digt die Phantasie an der Empfindung das Fehlende und das Urtheil modelt an ihr. Bei den Täuschungen über die Reihefolge der Farbenstreifen wurde immer die hellste oder dunkelste Farbe als vorderste gesetzt, unstreitig desswegen, weil wir gewohnt sind, das Centrum des Gesichtsfeldes am lebhaftesten zu empfinden. Bei undeutlicher Empfindung der Richtung versetzt nun das Urtheil diejenige Farbe, die den stärksten Eindruck macht, jenem Centrum am nächsten.

Eine andere Erfahrung, die hier in Betracht kommt, ist die, dass ein fixirtes Object seine Stellung verändert, wenn man mit dem Finger am Auge drückt, und dieses dadurch aus seiner Lage bringt. Wenn also bei leisem Druck an das untere Augenlied das betrachtete Object sich senkt, so könnte man auf den Glauben kommen, es erscheine dieses entweder nun zu tief, oder bei gewöhnlichem Stande des Auges zu hoch. Indess sieht man in beiden Fällen das Object in rechter Richtung.

Es sei in *Fig.* 12 *Tab. III.* das untere Auge in seiner natürlichen Lage. Der Gegenstand o, welcher in der Sehachse liegt, formirt sein Bildchen bei a, und der Sehstrahl geht durch den Drehpunkt des Auges c nach o. Wird aber durch Druck das Auge nach oben geschoben, so formirt o sein Bildchen oberhalb der Augenachse a′ c′ o′ bei b′; dieser Punkt projizirt die Empfindung durch den Drehpunkt des Auges c′ nach o, also an dieselbe Stelle, wo das vorher regelmässig gestellte Auge ihn hin projizirte. Gesetzt der Gegenstand o hätte sich bei ruhigem Auge gesenkt nach o″, so wäre das Netzhautbildchen von a nach b gewandert, und eben dadurch wäre die Empfindung vom Sinken des Objectes zu Stande gekommen. Nun hat aber, bei Verschiebung des Auges nach oben, das Netzhaut-

bildchen dieselbe Wanderung gemacht von a′ nach b′, folglich muss dieselbe Empfindung entstehen, als sinke der betrachtete Gegenstand. Hieraus ergiebt sich, dass wir uns in dem angeführten Falle nicht über die Richtung des Gesehenen, sondern über die Bewegung täuschen. Wir meinen irrthümlich, der Gegenstand bewege sich, während nur das Auge sich bewegt, ein Irrthum, der dadurch entsteht, dass das Auge nicht durch seine eigenthümlichen Muskeln bewegt wurde.

Eben so gewiss ist es, dass auch beim Doppelsehen die Empfindung der Richtung frei vom Irrthum ist. Denn wir sehen nicht etwa deshalb den einen Gegenstand doppelt, weil der Sehstrahl des einen oder beider Augen eine falsche Richtung verfolgte, sondern, wie andern Orts zu zeigen, weil die Netzhautbildchen sich auf differenten Stellen der Nervenhäute formiren, auf Stellen, die in der Empfindung nie sich vereinigen.

Es giebt nur einen Fall, wo das Auge in falscher Richtung sieht, den nämlich, wenn es auf die Entfernung des leuchtenden Objectes nicht passend eingerichtet ist. Bei ungehöriger Accommodation entsteht für jeden leuchtenden Punkt im Auge eine Scheibe, folglich statt eines kleinern Netzhautbildes ein grösseres, und folglich auch eine Erscheinung von ungehöriger Grösse. Sehen wir aber einen Gegenstand zu gross, so kann dies nichts anders heissen, als dass wir die Grenzpunkte des Objects, statt an ihre realen Orte, an zu weit auseinander stehende falsche setzen.

Die Nervenpunkte, auf welche die Ränder der Zerstreuungsscheibe zu stehen kommen, tragen ihre Empfindung durch den Drehpunkt in die Aussenwelt in einer Richtung, der das Object nicht entspricht, ein Beweis,

dass beim Sehen der Richtung die subjective Seite der Sinnenthätigkeit die herrschende ist.

Kapitel X.

Vom Einfachsehen mit zwei Augen.

Man sieht einfach, wenn sich die Augenachsen im betrachteten Object schneiden, dagegen doppelt, wenn dies nicht statt findet.

Im ersten Falle trifft der am schärfsten fixirte Punkt des Objectes auf die beiden Augenachsenpunkte, und jeder andre leuchtende Punkt desselben trifft auf Netzhautpunkte, welche in Bezug auf Entfernung und Richtung in gleichem Verhältnisse zu den Augenachsenpunkten stehen. Punkte zweier Netzhäute, welche auf die angegebene Weise gleichartig gelagert sind, hat man identische genannt. In der That verhalten sich 2 solcher Punkte in so fern wie ein einziger, als sie gemeinschaftlich nur ein Bild erzeugen, selbst den Fall nicht ausgenommen, wo der Act des Sehens in den beiden Nervenpunkten durch zwei Objecte bedingt würde.

Kreuzen sich aber die Augenachsen im Object nicht, so beleuchtet derselbe Punkt des Objectes in den beiden Netzhäuten nicht identische Punkte, sondern irgend andere, die man differente genannt hat, weil sie statt gemeinschaftlich gesondert wirken, und das eine Object im doppelten Bilde zeigen.

Indess ist es allerdings möglich, dass auch Gegenstände einfach gesehen werden, die nicht im Kreuzungspunkte der Sehachsen liegen. Es giebt nämlich ausser

diesem Punkte noch andre, im sogenannten Horopter gelegene, von welchen aus Lichtstrahlen, die in die Augen fallen, identische Punkte der Netzhaut treffen. Das Verdienst, die Gestalt des Horopters bestimmt zu haben, gebührt Johannes Müllern, obschon seine Angabe noch eine Berichtigung zulässt. Müller zeigte, dass nur solche Gegenstände einfach gesehen werden können, die in einem Kreise liegen, aber dieser Kreis ist nicht durch den betrachteten Punkt und die Mittelpunkte der Krystallinsen *), sondern durch den betrachteten Punkt und die Drehpunkte (Siehe Kap. IV.) der Augen bestimmt. Die Demonstration bleibt übrigens, wie Müller sie angegeben.

Es seien in *Fig.* 13 *Tab. II.* c, c′ die beiden Drehpunkte der Augen, l der fixirte Punkt, l c c′ ein durch diese 3 Punkte gezogener Kreis, a und b die Achsenpunkte der Netzhäute. Ein zweiter im Kreise l c c′ gelegener Punkt sei m. Der Punkt l, als der fixirte, entwirft sein Bild auf den Achsenpunkten der Netzhäute, bei a und b, der Punkt m entwirft sein Bild bei o und p, weil die Bilder eines Objectes in geraden Linien liegen, welche die Drehpunkte der Augen schneiden.

Eine Linie zwischen l m würde eine Sehne des Kreises l m c′ c sein, und alle Dreiecke, welche auf der Sehne eines Kreises verzeichnet werden, haben an der Peripherie gleiche Winkel. Der ∠ l c m ist also gleich ∠ l c′ m. Beiden Winkeln sind gleich ihre Wechselwinkel, und folglich ist o c a = p c′ a. Es sind o c = p c′ und a c = b c′, als Radien aus dem Drehpunkte auf die Netzhaut, folglich liegt o vom Achsenpunkt a so weit, als p vom Achsenpunkte b, und zwar nach dersel-

*) Müller a. a. O. p. 170 und folg.

ben Richtung, was die Erfordernisse identischer Punkte abgiebt.

Nach denselben Grundsätzen müssen nicht nur alle Punkte, welche im Kreise l m c′ c liegen, ihre Bilder auf identischen Punkten der Netzhäute formiren, sondern auch alle Punkte, die auf der Fläche einer Kugel liegen, von welcher l m c′ c der Aequator wäre. Wenn aber die Strahlen von Punkten, die auf dieser Kugelfläche liegen, sich in den identischen Punkten der Netzhäute vereinigen, so versteht es sich von selbst, dass anders gelegene Objecte ihre Bilder auf andern, d. h. auf differenten Punkten der Netzhäute entwerfen, und folglich doppelt gesehen werden *).

Von grossem Interesse ist die Frage, was entsteht, wenn identische Punkte der beiden Netzhäute Objecte von verschiedenen Farben sehen. Der Versuch von du Tour mit jedem Auge durch anders gefärbtes Glas zu sehen, ist sehr oft wiederholt worden, aber noch hat man sich nicht darüber verständigen können, ob bei diesem Experimente das betrachtete Object von jedem Auge in einer besondern Farbe wahrgenommen werde, oder ob sich die Empfindung beider Augen in einer Mittelfarbe vereinige.

E. H. Weber **) macht darauf aufmerksam, dass in du Tour's Versuche das betrachtete Object einfarbig erscheine, so bald man es mit identischen Stellen der Augen betrachte oder fixire. Allerdings erscheine ein Object, welches gleichzeitig durch ein blaues und ein gelbes Glas betrachtet werde, nicht grün, aber einfarbig

*) Indess werden die Doppelbilder in der Empfindung nicht immer deutlich, aus Gründen, die J. Müller bereits hinreichend erörtert hat.

**) Adnotationes anatomicae et physiologicae pag. 116.

erscheine es jeden Falls, und zwar in einer Farbe, die weder dem einen noch dem anderen Glase entspreche. Dem entgegen hatte früher J. Müller behauptet, dass die Empfindung jedes einzelnen Auges zwar allerdings modifizirt werde durch die Empfindung des andern, aber nicht in der Qualität der Farbe, sondern in Bezug auf Helles und Schattiges. Das Licht des helleren Glases werde gedämpft durch die Tiefe des dunklern, die Farben aber blieben getrennt, und das betrachtete Object erscheine bald in der einen bald in der andern, je nach der Willkühr des Beschauenden und der Richtung der Aufmerksamkeit.

So widersprechende Ansichten der geübtesten Beobachter müssen bei der Einfachheit der Frage, um die es sich handelt, nothwendig befremden. Zu berücksichtigen ist erstlich, dass ein durch blaues oder gelbes Glas betrachteter Gegenstand nicht blau oder gelb erscheint, sondern in seiner eigenthümlichen Farbe, mit einem Schein in das Blaue oder in das Gelbe. Nur weisses Licht erscheint, aber verhältnissmässig blass und nicht ganz rein, in der Farbe des Glases, durch welches man sieht. Eine Mittelfarbe könnte daher in dem Versuche von du Tour jeden Falls nur bei Betrachtung rein weisser Gegenstände entstehen, und selbst dann müsste die Farbe blass und ziemlich unrein ausfallen. Da es nun ohnehin nicht leicht ist, sich über Farbentöne zu verständigen, so liegt schon in diesem Umstande eine unversiegbare Quelle von Differenzen.

Ferner, betrachtet man einen grössern Gegenstand, so liegen nicht alle Punkte desselben im Horopter, oder vielmehr es wird, mit Ausnahme sehr weniger Fälle, immer nur ein äusserst kleiner Theil des Objectes im Horopter liegen, und nur dieser, als identische Stellen der

Augen beleuchtend, könnte in der Mittelfarbe gesehen werden. Mit Berücksichtigung dieser beiden Punkte glaubte ich neue Versuche anstellen zu müssen.

Versuch 1. Ich stellte ein Prisma so auf, dass das Farbenbild auf ein Bret fiel, in welchem senkrecht übereinander 2 kleine Löcher so angebracht waren, dass durch das obere nur blaues, durch das untere nur gelbes Licht fiel. Ich selbst stellte mich hinter das Bret, den Kopf auf die Schulter gelegt, so an, dass mein linkes Auge hinter dem obern, mein rechtes hinter dem untern Loche befindlich war. Nun sah ich zwei glänzende Lichtscheiben, eine blaue und eine gelbe, zum Beweiss, dass das Licht auf differente Stellen der Netzhäute fiel. Je mehr ich mit den Augen nach innen schielte, um so mehr näherten sie sich, endlich flossen die Lichtscheiben zusammen, wo nun identische Stellen der Augen getroffen wurden. Die Gesichtserscheinung war folgende:

In der Mitte der Scheibe befand sich ein gelber sonnenhaft glänzender Fleck, um diesen herum ein verhältnissmässig viel matterer Heiligenschein aus gelben und blauen Strahlen zusammengesetzt. Zunächst dem glänzenden Centrum zeigte jener Heiligenschein nur gelbe Strahlen, weiter nach aussen theils gelbe, theils blaue in centrifugaler Richtung. Der glänzende gelbe Mittelpunkt veränderte sich nie; der zunächst folgende gelbe Schein wechselte mit Gelb-grün; die äusserste Partie war immer aus gelben und blauen Strahlen zusammengesetzt. Ich konnte durch Willkühr es nicht dahin bringen, dass ich nur gelb oder nur blau gesehen hätte.

Wenn man die complizirte Erscheinung auflöst, so kann man kaum zweifeln, dass identische Stellen der Netzhäute verschiedene Farben auch verschieden empfinden,

und dass die Farbenempfindung des von hellerem Lichte getroffenen Auges die Empfindung des andern schwächt, oder ganz aufhebt. Zur weitern Aufklärung des Gegenstandes schien es mir angemessen, die Blendungsfarben zu berücksichtigen.

Versuch 2. Ich sah wie im vorhergehenden Versuche mit identischen Stellen der Netzhäute in gelbes und blaues prismatisches Licht. Beim Schliessen der Augen zeigten sich folgende Blendungsbilder der Reihe nach hinter einander: grüne Scheibe mit rothem Rande, — hellblaue Scheibe mit rothem Rande, — grüne Scheibe mit hellrothem Rande, — hellblaue Scheibe mit dunkelrothem Rande, — die grüne und die blaue Scheibe wechseln wiederholt, — rothe Scheibe mit gelbem Rande, — lilla Scheibe mit dunkel violettem Fleck in der Mitte, — dunkelgrün von hellblau umgeben, — schmuzig hellblau von schmuzig grün umgeben. In einem zweiten, auf gleiche Weise angestellten, Versuche zeigte sich ebenfalls die grüne Scheibe mit rothem Rande und die hellblaue Scheibe mit purpurrothem Rande geraume Zeit abwechselnd. Dann kamen Blendungsfarben etwas andrer Art als im ersten Experimente. Die angegebenen Blendungsbilder gleichen aber denen nicht, welche durch Empfindung des reinen Grün hervorgerufen werden, sondern scheinen Reactionen theils auf das Gelbe, theils auf das Blaue, wie sich aus dem folgenden Versuche ergiebt.

Versuch 3. Ich liess prismatisches Grün auf identische Stellen beider Netzhäute fallen. Beim Schliessen der Augen sah ich folgendes Blendungsbild: eine schöne grüne Scheibe auf ponso-rothem Grunde. Der Grund wurde allmählig dunkler, und nun bekam die Scheibe einen violetten Rand. Die Scheibe verschwand abwechselnd und kam wieder. Dabei verbreitete sich der violette Rand immer

mehr nach innen, bis endlich die ganze Scheibe violett war, dann nahm diese einen gelben Heiligenschein an und verschwand, allmählig blasser werdend.

Versuch 4. Ich liess in beide Augen blaues prismatisches Licht fallen. Beim Schliessen derselben erschien eine hellblaue Scheibe auf schwarzem Grunde, die Scheibe nahm einen rothen Rand an, der aus Zinnober in Purpurroth überging. Die Scheibe verschwand und kam wieder, nie mit einer andersfarbigen wechselnd. Der rothe Rand verbreitete sich immer mehr nach innen, bis zuletzt die ganze Scheibe purpurroth war.

Versuch 5. Ich sah mit beiden Augen ein gelbes prismatisches Licht und erblickte, beim Schliessen derselben, eine gelbe Scheibe mit zinnoberrothem Rande. Das Gelb der Scheibe ging sehr bald in Maigrün über. Der rothe Rand der abwechselnd sichtbaren und verschwindenden Scheibe wird immer breiter, und überzieht zuletzt die ganze Scheibe mit Purpurroth, wobei nach aussen ein blauer Rand auftritt.

In dem zweiten Versuch, wo in das eine Auge gelbes, in das andere blaues Licht gefallen war, wechselten also eine geraume Zeit hinter einander zwei Blendungsfarben, und zwar gerade die, welche das in jedes einzelne Auge geleitete elementare Licht erwarten liess. Es scheint fast unabweisslich, jede dieser Blendungsfarben als die subjective Rückwirkung des einen und des andern Auges zu betrachten, so also, dass auch die Nachwirkungen der Augen gesondert bleiben und sich nicht in einer gemeinschaftlichen Thätigkeit vereinigen.

Auch verschiedenfarbige, sich deckende Doppelbilder beweisen, dass die identischen Stellen der Netzhäute eine vollständige Vereinigung zweier Farben nicht zu Stande

bringen. Zum Versuche eignen sich sehr die kleinen, glänzendfarbigen, Oblaten die man zum Siegeln braucht. Wenn man einen Punkt fixirt, und zwischen diesen und jedes Auge eine Oblate bringt, z. B. eine gelbe und eine blaue, so decken sich die Bilder und geben eine im Raume einfache Erscheinung *), aber das Bild hat nicht nur eine Farbe, sondern zwei, die blaue nämlich und gelbe, die abwechselnd in der Erscheinung auftauchen. Indess zeigt in solchen Versuchen weder das Gelb noch das Blau seine ursprüngliche Farbe, sondern hat eine Nüance, von der J. Müller eben behauptet, dass sie sich nur auf Schatten und Licht beziehe. Nach meiner Empfindung würde ich die Richtigkeit dieser Angabe mit Weber leugnen. Es scheint mir allerdings die Farbe ihrer Qualität nach verändert, obschon ich mit Worten die Veränderung nicht beschreiben kann. Gesetzt, das Gelb veränderte sich, wie Müller annimmt, nur in's dunkle, indem sein Licht durch das tiefere Blau abgedämpft würde, so müsste, in dem Versuch mit farbigen Gläsern, die gelbe Erscheinung um so dunkler erscheinen, wenn man das 2te Auge ganz schlösse, denn mehr noch als das vorgehaltene blaue Glas würde das herabgesenkte Augenlied die Netzhaut beschatten. Aber die Erfahrung bestätigt dies nicht. Die Veränderung, welche das Gelb erfahren hatte, verschwindet mit dem Verschluss des zweiten Auges, statt dass sie zunimmt, und hängt also nicht von der Empfindung des Schattigen im andern Auge, sondern von dessen Farbenempfindung selbst ab.

---

*) Dass neben der einen Erscheinung jeder Seits noch ein minder deutliches Bild liegt, übergehen wir hier als etwas nicht zur Sache gehöriges, und aus der Theorie der Doppelbilder bekanntes.

Eine gewisse Modification der Farbenempfindung in dem einen Auge durch den Einfluss des andern scheint mir daher nicht wohl wegzuleugnen, aber dieser wechselseitige Einfluss ist keineswegs eine im Sehen verschmolzene Thätigkeit. Jedes Auge sieht abwechselnd seine Farbe, und selbst der Wille hat auf den Wechsel einigen Einfluss.

Wenn man, beim Sehen durch verschiedenfarbige Gläser, ein Object nicht gehörig fixirt, so entstehen Doppelbilder von verschiedener Farbe, ein Versuch, der zwar manches Unerklärliche hat, aber in Bezug auf die hier aufgestellte Frage doch zu beweisen scheint, dass identische Stellen der Netzhaut Farben gesondert zu empfinden im Stande sind.

Versuch 5. Es seien in *Fig.* 14 *Tab. II.* R R, N N die Netzhäute, in welchen sich 1: 1′, 2: 2′, 3,: 3′ identisch verhalten. a b c d e sei eine weisse Wand, von welcher der Punkt c im Kreuzungspunkte der Sehachsen 2 c, 2′ c liegt. Vor dieser Wand bringe man bei x einen schmalen Streifen weisses Papier an, welcher sein Bild auf den differenten Stellen 1 und 3′ formirt. Endlich sehe das Auge R R durch ein gelbes Glas G G, das Auge N N durch ein blaues Glas B B. In diesem Falle sieht man x doppelt, in blauer Farbe bei a und in gelber Farbe bei e. Nun hängt zwar das blaue Bild a von dem Netzhautpunkte 3′ ab, welcher nur durch blaues Licht beschienen wird, aber der identische Punkt 3 des andern Auges erhält von b aus gelbes Licht, und so sollte das Blausehen von 3′ modifizirt werden durch das Gelbsehen von 3, was aber nicht geschieht. Gleicherweise sieht 1 ein rein gelbes Bild, obschon der identische Punkt 1′ im Auge N N von d aus mit blauem Lichte beleuchtet wird.

In diesem Versuche fällt also verschiedenfarbiges Licht

auf identische Stellen der Netzhäute, aber nur die eine Farbe kommt zum Bewusstsein, und zwar ist diese Farbe weder nüancirt durch die andere, noch lässt sie sich willkührlich mit der andern verwechseln, was mit den vorhergehenden Beobachtungen sich nicht wohl vereinigen lässt.

Der Punkt c, welcher sein Licht auf die identischen Augenachsenpunkte 2 2′ wirft, wird gelb gesehen, aber nicht rein gelb, wie das Bild bei e, sondern dunkler und mit einer Nüance, ich möchte sagen, ins Grüne.

Wie kommt es nun, dass in dem Auge R R der Punkt 1 reines Gelb sieht und sich nicht stören lässt durch den Eindruck des blauen Lichtes auf den indentischen Punkt 1′ der andern Netzhaut NN, während in demselben Auge R R, der Punkt 2 nicht reines Gelb empfindet, sondern getrübtes?

Räthselhaft ist ferner, warum das gelbe Bild, welches durch 1 erzeugt wird, nie wechselt mit einem blauen, welches von 1′ erzeugt werden sollte, oder umgekehrt, warum das blaue Bild, welches durch 3′ bedingt war, auf keine Weise sich verdrängen liess durch ein gelbes Bild, welches von 3 hätte abhängen müssen? Man kann fragen, mit welchem Rechte soll von 2 identischen Punkten nur der eine ausschliesslich empfinden? In dem Bau der Netzhaut kann der Grund nicht wohl liegen, denn die identischen Punkte, um die es sich handelt, stehen unter gleichen Verhältnissen. Eben so wenig scheint der Grund in der Lage der leuchtenden Punkte liegen zu können. Es hat sich ergeben, dass nur das Licht empfunden wird, welches von dem Punkte x in die Augen eindringt, nicht aber das Licht, welches aus b und d einfällt. Ich wüsste aber nicht, dass x sich in einer günstigern Lage befände, als b und d, vielmehr liegen sogar letztere, als in gleicher

Entfernung mit c, auf welches die Augen eingerichtet sind, in mehr entsprechender Weite.

Auffallend ist endlich noch, dass der Fixationspunkt nur in der nüancirten gelben Farbe gesehen werden kann, nicht willkührlich blau oder gelb, in welchem Bezuge wir uns an Weber anschliessen. Und doch ist es bei sich deckenden Doppelbildern ganz unleugbar, dass die Farben beider Bilder abwechselnd im Bewusstsein auftreten (obschon nicht in ursprünglicher Reinheit), und dass man willkührlich sich von dem einen oder andern Farben-Eindruck lossagen kann. So schiene dort ein gezwungenes Zusammenwirken der identischen Netzhautstellen, in Bezug auf die Farbenempfindung, wirklich Statt zu finden, indess brauchte dieses Zusammenwirken nicht von einer Vermischung zweier Empfindungen zu einer auszugehen, sondern könnte auf Vernichtung der schwächeren durch die stärkere beruhen. Zu berücksichtigen ist in diesem Bezuge noch folgendes:

Versuch 6. Ich stellte ein Prisma in ein Fenster, dessen Rahmen im geschliffenen Glase von den Farben des Regenbogens eingefasst schien. Ein zweites Prisma hielt ich unmittelbar vor's Auge, und zwar in schiefer Richtung, so dass sein Farbenbild mit dem des erstern sich kreuzte. An den Stellen nun, wo die Farben sich deckten, entstand zwar nicht eine Mittelfarbe im strengern Sinne des Wortes, aber doch jedesmal nur eine Farbe, die absolut nicht in die Elemente zerlegt werden konnte, aus welchen sie entstanden war.

Wo sich gelb und blau deckten, sah ich dunkleres Gelb, mit einem Schein in's grüne; gelb und roth wurde zu hellem orange, blau und roth zu purpur.

Obschon die aufgeführten Versuche im Einzelnen Ungewissheiten Raum geben und sogar theilweise sich widersprechen, so scheint doch kein Zweifel zu sein, dass identische Stellen der Netzhäute verschiedene Farben als Verschiedenes empfinden können. Dass in andern Fällen beide Eindrücke sich in der Anschauung nicht sondern, kann jene Erfahrungen nicht aufheben, sondern nur veranlassen, den Grund der Ausnahme zu untersuchen. In vielen Fällen mag dies, wie wir schon angedeutet haben, die Intension des Lichtes sein, indem von 2 empfindenden Netzhautpunkten derjenige zur Anschauung kommt, welcher von lebhafterem Lichte gereizt wird. So verschlingt, wie es scheint, in Versuch 6 das hellere Gelb alle Farben, und Roth vernichtet das Blau. Auch die sich deckenden farbigen Doppelbilder bestätigen diese Ansicht, denn während man bei gleicher Intensität der Farben willkührlich die eine oder andre zur Anschauung bringen kann, so ist dies nicht möglich, wenn Eine an Glanz beträchtlich überwiegt. Betrachtet man eine glänzende Münze gegen dunkeln Grund, und drückt mit dem Finger an dem Auge, so schieben sich die Doppelbilder übereinander weg, aber es gelingt durchaus nicht da den Grund zu sehen, wo man die Münze sieht. Indess reicht auch diese Erklärung nicht aus, um den 5ten Versuch zu erläutern.

Bei den zahlreichen Analogien zwischen Gesicht und Getast drängt sich von selbst die Frage auf, ob identische Theile des Tastsinnes in Berührung mit dem Aeussern sich ähnlich verhalten, als die des Gesichtes. Bei einer Parallele zwischen beiden Sinnen findet sich Folgendes:

I. Gesicht.	II. Getast.
a) Differente Stellen der Netzhäute empfinden objective Einheit als örtlich Doppeltes.	*a)* Differente Stellen der Tastorgane empfinden objective Einheit nicht etwa als Doppeltes, sondern gar nicht, weil sie nach den Gesetzen der Räumlichkeit gar nicht gleichzeitig damit in Contact kommen können.
b) Identische Stellen der Netzhäute empfinden objective Einheit örtlich als Eines.	*b)* Identische Stellen des Tastorgans kommen mit dem objectiv Einen ebenfalls nicht in Berührung.
c) Identische Stellen der Netzhäute empfinden objectiv Doppeltes als Eines im Ort.	*c)* Identische Stellen der Haut empfinden objectiv Doppeltes als Doppelt im Ort.
d) Identische Stellen der Netzhäute empfinden qualitativ (in der Farbe) Verschiedenes als qualitativ Doppeltes, aber Eins im Ort.	*d)* Identische Stellen der Haut empfinden qualitativ Verschiedenes, (z. B. in Bezug auf Wärme) qualitativ verschieden und doppelt im Ort.

Der teleologische Zusammenhang dieser Phänomene ist leicht zu begreifen. Die Natur versah uns mit einem doppelten Apparat von Organen, durch welche wir äussere Reize empfinden und Material gewinnen, um auf die Beschaffenheit der Aussenwelt zu schliessen. Nothwendig mussten die Organe eine solche Einrichtung erhalten, dass der auf doppeltem Wege zur Seele gelangte Reiz, wenn er von einem Objecte ausging, nur auf eines bezogen wurde.

Der Dualismus der Tastempfindung bedurfte keiner Vereinigung, weil er immer nur von objectiv Doppeltem ausging. Der Dualismus der Gesichtsempfindungen dagegen bedurfte eines einenden Bandes, wenn das von einem Punkte in die Augen fallende Licht eben nur auf einen Punkt bezogen werden sollte.

In dem Vorhergehenden sind die Erscheinungen des Einfachsehens in ihrer Gesetzlichkeit untersucht worden, wobei sich einige noch nicht ganz erledigte Schwierigkeiten darstellten. Noch weniger genügend ist unsre Kenntniss des Grundes jener Erscheinungen.

Porterfield und mehrere der neueren Physiologen behaupten, dass das Einfach-Sehen sich aus dem Vermögen, die Richtung und Entfernung der Gegenstände wahrzunehmen, von selbst ergebe. Jedes Auge sehe ein Object an seinem rechten Orte, und da beide Augen den Gegenstand an Einen Ort setzten, und an einem Orte nur ein Ding sein könne, so sehen wir mit beiden Augen eben nur Eines. Diese Erklärung ist aber unrichtig. Was das Wahrnehmen der Richtung anlangt, so ist dieses zum Einfachsehen nicht ausreichend, denn auch 2 differente Punkte der Netzhaut sehen das Object, von welchem sie beleuchtet werden, in seiner wahren Richtung (Kap. IX.), ohne zur Einheit der Empfindung zu gelangen. Das Hinzuziehen der Entfernung, deren Erkenntniss einem Object in einer bestimmten Linie einen bestimmten Punkt anweist, hilft zur Hervorbringung des Einfachsehens ebenfalls nichts. Denn auch dann müssten differente Punkte das Vermögen des Einfachsehens besitzen, weil sie, obschon unter sich different, doch identisch mit irgend andern Theilen, das Vermögen, die Entfernung zu erkennen, so gut besitzen müssten, als 2 unter sich identische Punkte. Wenn das

Vermögen, die Gegenstände an ihrem Orte zu sehen, das Einfachsehen begründete, so müsste dasselbe Vermögen das Einfachsehen in den Fällen verhüten, wo zwei Objecte im subjectiven Bilde zu einem verschmelzen. Der Umstand, dass selbst das objectiv Doppelte auf identischen Punkten als Eins erscheint, beweist unwidersprechlich, dass in dem organischen Verhalten der identischen Punkte der alleinige Grund des Einfachsehens zu suchen sei. Identische Punkte empfinden unter allen Verhältnissen einfach, weil sie selbst organisch eins sind.

Noch ist das organische Band zwischen den identischen Punkten der Netzhäute nicht gefunden, doch bleibt es der philosophischen Anatomie unbenommen, nach Gründen einer sorgfältigen Analogie, sein wahrscheinliches Verhältniss darzustellen, ja es ist sogar die Pflicht der Naturforschung, durch wohlbegründete Hypothesen der anatomisch-physiologischen Untersuchung den muthmasslich angemessensten Weg vorzuzeichnen.

Fast unvermeidlich scheint die Annahme, dass in gezwungener Gemeinschaft empfindende Punkte einen gemeinschaftlichen Mittelpunkt im Gehirn haben. Daher nahm Rohault*) an, dass die identischen Stellen der Netzhaut die Endpunkte zweier correspondirenden Nervenfasern wären, welche in einem Punkte des Sensoriums zusammenträfen. J. Müller**) modifizirte diese Ansicht, indem er annahm, dass die primären Nervenfasern im Chiasma sich gabelförmig theilten, und in den Netzhäuten endend die identischen Nervenpunkte hervorbrächten. Dagegen wurde schon im Ersten Kap. bemerkt, dass ich mit Be-

---

*) Physic. Pars I. cap. 31. nach Porterfield.

**) a. a. O. pag. 83 u. folg.

nutzung eines vortrefflichen Mikroskopes, verzweigte Nervenfasern im Chiasma gesucht, aber nicht gefunden habe.

Die Hypothese Müller's und Rohault's scheitern übrigens an unserer dermaligen Kenntniss von dem Bau der Netzhaut. Beide Physiologen verlangen für identisch empfindende Netzhautpunkte Einheit des Nervenursprunges, und müssen nun consequenter Weise für differente Punkte differente Nervenenden annehmen. Nach beiden ist die Zahl der diskret empfindenden Punkte einer Netzhaut entsprechend der Zahl der Nervenenden, und folglich auch gleich der Zahl der Nervenfasern im Sehnerv. Wären die Nervenenden genau so dick, als die primitiven Fasern selbst, so würde der Sehnerv nur ausreichen, eine Netzhaut von der Grösse seines eignen Durchschnitts zu bilden. Nun übertrifft aber die Netzhautfläche den Durchschnitt des Sehnervens mindestens um das 50fache, und wenn zu jedem empfindenden Punkte ein besondrer Leiter gehen sollte, so müsste die Grösse jedes empfindenden Punktes den Durchschnitt der einfachen Fasern ebenfalls um das 50fache übertreffen. Für Theile von solcher Grösse finden sich in der Netzhaut keine organischen Repräsentanten. Berechnet man mit Smith die Grösse der empfindenden Netzhautstellen im Menschen zu $\frac{1}{8000}$ Zoll (0,00012″), so hätte eine solche Stelle noch nicht den Durchschnitt der primitiven Faser des Sehnerven (nach meinen Messungen im Mittel $\frac{1}{5,000}$ Zoll oder 0,00019″), woraus denn folgen würde, dass für mehr als 50 empfindende Stellen nur ein besonderer Leiter im Sehnerv enthalten wäre.

Es bedarf im Grunde mehr nicht als Smith's Berechnung, um zu zeigen, dass die kleinsten Nervenfasern, die wir jetzt kennen, auf keinen Fall ausreichen, um für jeden diskret empfindenden Punkt einen besondern Leiter

herzugeben. Indess mag bemerkt werden, dass Smith die kleinsten der Empfindung fähigen Theile der Netzhaut bestimmt viel zu gross annahm. Wir haben im Kap. VII. angenommen, dass jedes mittelmässige Auge ein Haar von 0,002″ auf 15″ Entfernung erkenne, was ein Netzhautbildchen von 0,000045″ Diameter geben würde. Diese Annahme ist bestimmt nicht zu gross. Ich selbst erkannte einen Spinne-Webfaden von 0,00011″ in der Entfernung von 15″, wobei der Diameter des Netzhautbildchens nur 0,0000025″ ausfällt!

Die Lehre von der Nervenleitung wird den Bau und die Funktionen der Netzhaut vorzugsweise berücksichtigen müssen, und so lange die hier aufgestellten Behauptungen nicht widerlegt sind, wird es mir nichts weniger als unwahrscheinlich vorkommen, dass die, von uns als einfach angenommene, Nervenfaser sich in Zweige spalte, deren jeder eine gesonderte Empfindung zu erwecken im Stande sei.

Kapitel XI.

Ueber das Accommodationsvermögen des Auges.

Die Frage, ob das Auge ein besonderes Vermögen besitze, sich nach der Entfernung der Objecte einzurichten, ist bis auf den heutigen Tag streitig. Denn wie früher La Hire und Haller ein solches Vermögen leugneten, so haben neuerlich Magendie *), Simonoff **) und Treviranus ***) dasselbe gethan, während die grosse

*) Précis élément. de Physiol. I. pag. 73. edit. 2.

**) Journal de Physiol. par Magendie IV. 260.

***) Beiträge zur Anat. und Physiol. der Sinneswerkz. Heft 1. 1828 und Beiträge zur Aufklärung der Erscheinungen und Gesetze des organischen Lebens 1835.

Mehrzahl der lebenden Physiologen und Physiker gewisse Veränderungen Behufs der Accommodation als unabweislich ansieht.

Magendie behauptet, das Netzhautbildchen aller Objecte, unter den verschiedensten Entfernungen, zeige sich auf der durchsichtigen Sklerotika eines Kaninchenauges von gleicher Deutlichkeit. Dies ist mir nicht so vorgekommen, aber hiervon ganz abgesehen, so ist es so misslich, über die Deutlichkeit der Bildchen in präparirten Augen zu entscheiden, dass ein Grund der Art ohne alles Gewicht scheint.

Treviranus verwirft, auf mathematische Betrachtungen gestützt, das Accommodationsvermögen des Auges als etwas Unnöthiges. Nach ihm hat die Zusammensetzung der Linse aus Schichten, deren Dichtigkeit nach Innen zunimmt, die Folge, dass die Vereinigungsstelle der Lichtstrahlen, bei veränderter Entfernung des Objectes, keine merkliche Veränderung erleidet, so lange die Strahlen mit der Augenachse einen Winkel von merklicher Grösse machen. Wäre dieser Winkel unendlich klein, so gingen zwar die Lichtstrahlen durch fast gleichartige Schichten der Linse und würden nach Befinden vor oder hinter der Netzhaut vereinigt, indess die unendliche Kleinheit des Winkels verhindere die Wahrnehmung des Missstandes.

Diese Lehre ist in dem angeführten neuesten Werke bestätigt und genauer ausgeführt worden. Eine geschichtete Linse hat das Eigenthümliche, dass den äussersten Strahlen eines Lichtkegels (welche mit der Sehachse einen grössern Winkel machen) die grössere, den innern Strahlen die kleinere Focaldistanz entspricht, während in einer ungeschichteten Linse das Umgekehrte statt findet. Die Abweichung der Strahlen vom *focus* ist in der geschichteten

Linse geringer, nicht blos in Bezug auf Lichtstrahlen, die aus gleicher Entfernung, aber unter verschiedenen Winkeln einfallen, sondern auch bei verschiedener Entfernung des leuchtenden Objectes. Eine geschichtete Linse kann zwar nicht das Licht, welches von einem Punkte ausgeht, in einem mathematischen Punkte vereinigen, aber sie vereinigt es in so kleinen Scheiben, dass die Deutlichkeit des Gesichts, wie wir sie eben haben, dabei bestehen kann. Ferner vereinigt eine solche Linse das Licht, welches von Punkten unter verschiedner Entfernung ausgeht, zwar nicht in gleich kleinen Scheiben, allein die Differenz ist als nicht vorhanden zu betrachten, weil die Pupille die Winkel, welche die äussersten Strahlen eines Lichtkegels mit der Augenachse machen, zur Entfernung des leuchtenden Punktes in ein festes Verhältniss setzt, und dadurch bewirkt, dass Objecte aller Entfernungen in gleicher, unsern Bedürfnissen entsprechender, Deutlichkeit gesehen werden können.

Man braucht die Richtigkeit des Kalkuls, der dieser Theorie zum Grunde liegt, nicht zu bezweifeln, und kann doch bedenklich über ihre Anwendbarkeit auf das Auge sein. Wir bekennen dieses Bedenken zu theilen und wollen zuvörderst nach zu weisen suchen, dass, nach Maassgabe der Entfernung des leuchtenden Objectes, der Brennpunkt, in welchem sein Licht sich sammelt, eine verschiedene Lage habe.

1) Scheiners Versuch beweist, dass Objecte nur in einer gewissen passenden Entfernung ihr Licht auf der Netzhaut vereinigen, und dass das Auge die Strahlen zu naher Gegenstände erst hinter der Netzhaut, zu ferner dagegen schon vor ihr vereinigt (S. Kap. VIII. 10.). Noch deutlicher zeigte der Versuch von Young, dass das Auge

bei gleichzeitiger Beleuchtung einer Reihe hintereinander liegender Punkte, nur die Lichtstrahlen eines Einzigen, in passender Entfernung gelegenen, in einem Punkte der Netzhaut vereinigt, während es das Licht aller übrigen leuchtenden Punkte um so weniger vereinigt, jemehr sie von dem Punkte des deutlichsten Sehens (diesseits oder jenseits) entlegen sind (S. Kap. VIII. 10 D.). Objecte innerhalb und ausserhalb der Sehachse verhalten sich in den angegebenen Beziehungen gleich (S. Kap. VIII. Nr. 7 und Nr. 10 D.).

Scheiners Versuche sind in Bezug auf die aufgestellte Behauptung entscheidend, wenn sie richtig sind, aber eben dies leugnet Treviranus *). Das ganze Gewicht jener Versuche liegt, wie wir gezeigt haben, in dem Umstande, dass, beim Fixiren eines zu nahen Gegenstandes durch 2 kleine Löcher, Verschluss des einen Loches Verschwinden des anderseitigen Phantoms nach sich zieht, während, bei Betrachtung eines zu fernen Objectes, Zuhalten eines Loches Verschwinden des gleichseitigen Bildes mit sich bringt. Treviranus sagt: Beim Verschliessen der einen Oeffnung scheint mir immer das nämliche Bild zu verschwinden, ich mag vor dem Versuche einen nähern oder fernern Punkt fixiren, wenn die Stellung des Augapfels, der Oeffnungen und des Gegenstandes unverändert bleibt und das Licht einerlei Fall auf den Gegenstand, die Oeffnungen und das Auge behält." Aus den angeführten Worten des hochverdienten Beobachters ergiebt sich, dass er einen Gegenstand unter gleicher Entfernung vom Auge betrachtete, und nur durch Veränderung des Accommodationszustandes zu bewirken suchte, dass das ruhende Object eine relativ zu grosse Nähe oder

*) Biologie VI. pag. 506.

Ferne gewänne. Ich muss annehmen, dass Treviranus bei diesem Versuche nicht glücklich gewesen, und wenn bei allen Beobachtungen Verschluss eines Kartenlochs Verschwinden desselben Bildes hervorbrachte, so hat in allen Beobachtungen das Object entweder zu nah oder zu fern gestanden. Die Richtigkeit der Versuche Scheiner's und Porterfield's ist ganz unantastbar, wie sich jeder durch Wiederholung des Versuches von Young sehr leicht überzeugen kann. Stets erzeugt hier Zuhalten des einen Loches Verschwinden des einen ganzen Fadens, nämlich Zuhalten des rechten Loches ein Verschwinden der links liegenden, zu nahen Hälfte des Fadens und der rechts liegenden zu fernen Hälfte.

Treviranus bemerkt noch, dass bei Verschluss eines Kartenloches Bewegung des Auges unvermeidlich sei, ein Umstand, der den Versuch ganz unsicher mache. Es hat aber geflissentliche Bewegung des Auges nicht den mindesten Einfluss auf das Verschwinden des einen oder andern Bildes, kann ihn auch nicht haben, weil, wie oben gezeigt worden, die Bewegung des Auges keine Veränderung in dem Stande der Bilder zur Folge hat.

2) Um die Versuche von Scheiner und Porterfield auf einem andern Wege zu prüfen, präparirte ich den Augapfel eines weissen Kaninchens, stellte ihn hinter einer durchlöcherten Karte so auf, dass die Löcher vor der Pupille lagen, und brachte, nachdem das Zimmer verfinstert worden war, vor der Karte ein Licht an. Stand das Licht nur einige Zolle vom Auge entfernt, so zeigte sich auf der hintern Wand der durchsichtigen *sclerotica* ein vollkommen getrenntes Doppelbild. Wurde das rechte Kartenloch verschlossen, so schwand das rechte Bildchen, welches im lebenden Auge ein links liegendes

Doppelbild erzeugt haben würde. Schloss ich das linke Loch, so verschwand das linke Bildchen, vollkommen in Uebereinstimmung mit dem, was zur Erklärung von Scheiner's Versuchen oben bemerkt wurde (S. Kap. VIII. 10.). Ich habe den Versuch mit demselben Erfolge in Gegenwart des Herrn *Dr.* Weber wiederholt, nur standen hier die Bilder nicht vollkommen neben einander, sondern deckten sich theilweise. Wurde die Lichtflamme von dem Auge entfernt, so näherten sich die Doppelbilder immer mehr, bis sie endlich in ein einziges Flammenbild zusammentraten.

Ich darf nicht verschweigen, dass mir der Versuch mehrere Male missglückt ist, glaube aber nicht, dass dies die Folgerungen aus demselben schwäche. Bei den Veränderungen, die der Tod in einem so zarten Organe, wie das Auge, nothwendig hervorbringt, können gleichmässige Resultate der Versuche nicht erwartet werden, und ein affirmativer Beweis dürfte hier von grösserem Gewichte sein als 100 negative.

3) Wenn man ein Haar a b *Fig.* 17. *Tab. III.* welches horizontal ausgespannt worden ist, der Länge nach von A aus betrachtet, und dabei den Punkt c fixirt, so erscheint die Stelle d e in ihrer natürlichen Feinheit und lebhaften Farbe, dagegen erscheinen die Stellen a d und e b als divergirende, grauliche Bündel, die Stelle a d als ein abwärts vom Auge spitzer werdender Kegel f d g, die Stelle e b aber als ein abwärts vom Auge sich ausbreitender Kegel h e i. Der Grund ist, dass das Auge nur die Lichtstrahlen des fixirten Punktes c in einem Punkte vereinigt. Die Lichtstrahlen aller übrigen Punkte vereinigen sich nicht auf der Netzhaut, sondern hinter ihr, wenn sie dem Auge zu fern liegen. Demnach bilden sich auf der Netzhaut statt Punkten Scheiben, die um so grösser

ausfallen, je weniger die Lage des leuchtenden Punktes der passenden Sehweite A c nahe kommt. Die Feinheit und Deutlichkeit der Stellen d c und c e hängt davon ab, dass sie noch ziemlich genau in der rechten Sehweite liegen. Zwar werden die von ihnen ausgehenden Lichtstrahlen nicht vollkommen auf der Netzhaut vereinigt, und die Verbreiterung der Punkte zu Scheiben beginnt keineswegs erst bei den Punkten d und e, nur geschieht sie so allmälig, dass sie anfangs unbemerkbar bleibt.

4) Wenn ich zwei feine Nadeln, die eine 6″ die andere 10″ (vom Auge, in einer geraden Linie, welche die verlängerte Augenachse ist) aufstecke, so sehe ich die Nadeln, ungeachtet sie sich decken, gleichzeitig. Fixire ich nämlich die nähere, so sehe ich diese scharf und fein und zu beiden Seiten eingefasst von dem nebelhaften Bilde der entfernten sehr breit erscheinenden Nadel. Fixire ich dagegen die entfernte Nadel, so sehe ich diese zwar nicht hell, wohl aber scharf und namentlich schmal, durchschimmernd durch das viel breitere, mehr nebelhafte Bild der nähern Nadel. Es wäre unrichtig, diese Erscheinung durch Konzentrirung der Aufmerksamkeit im fixirten Punkte erklären zu wollen. Es wechselt nicht blos der Grad der Deutlichkeit, sondern auch die Dimension des Objectes, ein Beweis, dass die Dimension des Netzhautbildes sich ändert. Schmal ist die Erscheinung, und schmal das Netzhautbild, wenn jeder Punkt des leuchtenden Objectes seine Lichtstrahlen in einem Punkte der Netzhaut zusammenbricht, breit dagegen ist das Phantom, und gross das Netzhautbild, wenn die Lichtkegel Zerstreuungskreise bilden.

5) Ich steckte eine Nadel in eine horizontale Tafel und fixirte sie, in einer Entfernung von 15″, mit beiden

Augen. Eine zweite Nadel wurde 3″ vom Auge so eingesteckt, dass sie die erste dem rechten Auge verdeckte und folglich selbst in der Augenachse lag. War dies geschehen, so sah ich die 15″ entfernte Nadel vollkommen scharf, dagegen die 3″ nahe höchst undeutlich und nebelhaft verbreitert. Ist nun die Behauptung richtig, dass der *Focus* der nähern Nadel in diesem Falle hinter die Netzhaut fällt, so muss ein passendes Convexglas, welches den *Focus* mehr nach vorn bringt, die Deutlichkeit unterstützen. Dies geschah bei Anwendung eines Convexglases von 3″ Brennweite. Ich sah jetzt beide Nadeln scharf begränzt, die nahe mit dem bewaffneten, die entfernte mit dem unbewaffneten Auge. Dabei wurde das Bild der nähern Nadel verschmälert, was nur auf Verkleinerung des Zerstreuungskreises bezogen werden kann.

Es ist nun ferner zu zeigen, dass das Auge, welches gleichzeitig nur die Strahlen gleich weit entfernter Objecte auf der Netzhaut vereinigt, in der Folge der Zeit auch Lichtstrahlen, die aus verschiedenen Entfernungen kommen, in einem Brennpunkt zusammen bricht.

6) Wenn man durch zwei Kartenlöcher eine Stecknadel in derjenigen Entfernung betrachtet, wo sie einfach erscheint, so kann man die Nadel innerhalb gewisser Grenzen näher oder ferner rücken, und dennoch einfach sehen. Fixirt man die Nadel mit Anstrengung, so kann man sie unter Entfernungen einfach sehen, wo ohne diese Anstrengung weit getrennte Doppelbilder zum Vorschein kommen. Am besten eignet sich zu Betrachtungen dieser Art der Versuch von Young (Kap. VIII. 10 D). Fixirt das Auge (*Tab. II. Fig. 7*) den Faden l m bei c, so liegt der Kreuzungspunkt bei d, vorausgesetzt nämlich,

dass c und d innerhalb der Grenzen liegen, in welchen das Auge Lichtstrahlen, die von einem Punkte ausgehen, wieder in einem Punkte der Netzhaut vereinigen kann. Fixirt das Auge den Punkt c, so werden die von hier ausgehenden Lichtstrahlen in einem Punkte der Netzhaut zusammengebrochen, während dieselben Lichtstrahlen, bei Fixation des Punktes d auf der Netzhaut eine Scheibe bilden.

7) Betrachtet man auf gleiche Weise einen Faden oder ein Haar, nicht durch zwei Kartenlöcher, sondern mit blossem Auge (s. oben Nr. 3), so verschiebt sich die dünnste Stelle des Fadens, das heist diejenige, welche durch Vereinigung der Lichtstrahlen eines leuchtenden Punktes in einem Punkte der Netzhaut entsteht, in demselben Maasse, als man einem nähern oder entfernteren Punkte des Fadens seine Aufmerksamkeit zuwendet.

Betrachtet man, statt eines Fadens, 4 in paralleler Richtung nebeneinander aufgespannte Fäden, so zeigen sich die 4 dünnsten Stellen in gleicher Entfernung vom Auge und nähern oder entfernen sich, nach Maassgabe der Fixation, alle 4 gleichmässig. Dieser Versuch ist ein schlagender Beweiss, dass die verschiedene Deutlichkeit zweier Objecte von verschiedener Entfernung, nicht Folge der konzentrirten Aufmerksamkeit auf das eine ist. Kann sich die Aufmerksamkeit in der Richtung der Breite des Gesichtsfeldes vertheilen, so hat man keinen Grund, ihr diese Fähigkeit in der Direction der Tiefe abzusprechen. Die dünnen Stellen der 4 parallellaufenden Fäden erscheinen desshalb am dünnsten, weil sie unter gleichen Accommodations-Verhältnissen gesehen werden, und die verbreiterten Stellen derselben Fäden erscheinen darum

nicht gleich deutlich, weil jene Gleichheit der Accommodation fehlt.

Es scheint mir unmöglich die hier aufgestellten Thatsachen mit der von Treviranus begründeten Theorie zu vereinigen, und so bin ich genöthigt anzunehmen, dass seine Lehre, vom Gange des Lichtes durch geschichtete Kugeln, auf die Krystallinse keine Anwendung leide. Hierin bestäıkt mich das eigne Geständniss des Verfassers, welcher (S. 67 der neuen Beiträge) zugiebt, dass die von ihm berechneten Halbmesser der Netzhautbilder 50 bis 60 Mal grösser seien, als das Scharfsehen verlange. Zwar heist es weiter, dass diese Differenz unstreitig nicht eingetreten sein würde, wenn wir Mittel besässen, jene Halbmesser genauer zu berechnen, indess ist, wenn einmal die Rechnung nicht trifft, auch die Möglichkeit noch grösserer Differenzen denkbar.

Dass die Krystallinse nicht einer geschichteten Kugel gleiche, deren Eigenthümlichkeit darin besteht, dass die äussern Strahlen eines einfallenden Lichtkegels einen entlegneren *Focus* haben als die innern, beweist in Scheiners Versuch das Verschwinden gewisser Doppelbilder bei Verschluss gewisser Löcher einer vor das Auge gehaltenen Karte.

Wenn, der Hypothese zu Folge, der auf die Netzhaut fallende Lichtkegel so gebrochen wird, dass die äussersten Strahlen desselben mehr oder weniger hinter der Netzhaut, die innersten aber mehr oder weniger vor der Netzhaut den *Focus* bilden (neue Beiträge; Erläuterung zu *Fig. IX.*), so würde folgendes Statt finden: Es würden die äussersten Lichtstrahlen d y, d′ y (*Fig.* 10 *Tab. II.*) welche sich hinter der *retina* R R bei y vereinigen, nur den Rand einer Lichtscheibe erleuchten, deren Durch-

messer c c′ wäre. Ferner würde, weil der *Focus* dieser Strahlen ein für alle Mal hinter die Linse fallen soll, jeder Grenzstrahl des Lichtkegels auf der Seite des Auges verbleiben, auf welcher er einfiel, es würde der oberste Grenzstrahl d y stets einen oberhalb der Augenachse gelegenen Punkt c beleuchten, während der untere Grenzstrahl d′ y ohne Ausnahme einen unterhalb der Augenachse gelegenen Punkt c′ beleuchten müsste. Würde der obere Grenzstrahl d y abgeschnitten, so würde das obere Netzhautbild c wegfallen, und weil ein Netzhautbild oberhalb der Sehachse eine Erscheinung unterhalb erweckt, so würde durch Abschneidung des obersten Grenzstrahles eines Lichtkegels in allen Fällen ein unterer Punkt der Erscheinung in Wegfall kommen. Dies ist aber nicht immer der Fall. Vielmehr haben wir gesehen, dass bei Betrachtung eines zu fernen Punktes, in Scheiners Versuch, durch Verschluss des obern Loches das obere Bild verdeckt wird. Nun hängt das obere Bild von einer unten liegenden Netzhautstelle ab, und wenn Verschluss des obern Kartenlochs die untere Netzhautstelle beschattet, so muss der Lichtstrahl, welcher sie vorher beleuchtete, die Augenachse vor der Netzhaut geschnitten haben.

Man könnte fragen, ob der Lichtstrahl, von dem hier bewiesen wurde, dass er die Sehachse schon vor der Netzhaut schnitt, auch wirklich jener Grenzstrahl sei, von dem Treviranus berechnete, dass er erst hinter der Netzhaut die Achse schneide? Diesen Zweifel löst die Erfahrung, dass bei Betrachtung eines zu fernen Gegenstandes unfehlbar und ohne Ausnahme Verschluss des obern Kartenloches Verschwinden des obern Bildes nach

sich zieht, mag man den Kartenlöchern eine Distanz geben, welche man wolle.

Wenn man mit einer feinen Nähnadel Löcherchen so nah als immer möglich neben einander durch Staniol sticht, und eine sehr ferne Stecknadel betrachtet, so sieht man diese in zahlreichen Doppelbildern. Verschliesst man die Löcherchen, in der Reihefolge von rechts nach links, so schwinden die Phantome ohne Ausnahme genau in derselben Richtung und Folge. Diess beweist, dass die Lichtstrahlen, welche durch die verschiedenen Löcher und durch verschiedene Partien der Linse drangen, sämmtlich nach einem Prinzip gebrochen werden, nämlich die äussern sowohl als innern Strahlen des Lichtkegels haben schon vor der Retina die Achse geschnitten. Betrachtet man durch denselben Apparat eine zu nahe Nadel und schliesst die Löcher in ununterbrochner Folge von rechts nach links, so findet das Umgekehrte Statt, die Bilder schwinden in stätiger Folge von links nach rechts, ein Beweis, dass sämmtliche Lichtstrahlen erst hinter der Netzhaut die Sehachse schneiden.

Nicht zu verschweigen ist, dass eine Beobachtung von Young (*Philos. Transact.* 1801. *pag.* 69.) mit den Ansichten, welche Treviranus vom Gange der Lichtstrahlen hat, übereinstimmt. Young betrachtete einen Faden durch vier Kartenlöcher, und fand, dass von den 4 Faden, die nun zur Erscheinung kamen, die beiden innern sich näher dem Auge kreuzten, als die beiden äussern. Dies würde beweisen, dass die Lichtstrahlen, welche durch die äussersten Kartenlöcher und folglich durch den Rand der Krystallinse fielen, erst hinter der Netzhaut sich vereinigten, die Strahlen dagegen, welche durch die Mitte der Linse gingen, auf ihr. Demnach würde den äusser-

sten Strahlen des Lichtkegels allerdings eine grössere Focaldistanz entsprechen. Indess fällt der Versuch bei mir nie so aus, und wohl zu berücksichtigen ist, wie leicht Young sich täuschen konnte. Wenn man 4 Fäden unter spitzen Winkeln sich kreuzen lässt, so liegen die beiden innern Fäden näher an einander als die äussern, und schneiden sich unter einem kleinern Winkel als diese. In der Nähe des Kreuzungspunktes aller 4 Fäden wird daher der Abstand der beiden innern Fäden früher dem Auge verschwinden, als der der äussern, es werden die innern Fäden früher als die äussern zusammen zu fliessen oder sich zu kreuzen scheinen. Bestände wirklich eine Kreuzung, wie Young sie annimmt, so könnte ein Faden, durch 4 Kartenlöcher betrachtet, nirgends einfach erscheinen, vielmehr müsste der Faden zwischen dem Kreuzungspunkte der nähern und entfernteren Fäden doppelt wahrgenommen werden, an den Stellen nämlich, wo der 1te und 3te Faden einerseits, und der 2te und 4te andrerseits zur Kreuzung kämen. Dies findet aber nicht statt.

Durch alles Vorstehende wird man nothwendig zu dem Schluss geführt, dass die Krystallinse ein brechendes Medium sei, welches die Fähigkeit besitze, ohne merkliche Zerstreuung sämmtliche Lichtstrahlen in einem *Focus* zu vereinigen.

Hiermit übereinstimmend sind die einzelnen aber hinreichend beglaubigten Fälle enormer Scharfsichtigkeit, wo Netzhautbildchen von kaum mehr denkbarer Kleinheit noch Empfindung erregen. Wenn nun, nach Treviranus Berechnung, schon für Gegenstände unter 30″ Gesichtswinkel die Durchmesser der Brennpunkte 50 bis 60 Mal zu gross sind, so würde die geschichtete Linse für Gegenstände, die unter einem Winkel von 1‴ gesehen wer-

den (Fälle, wie Muncke nachweist, und ähnliche mir selbst vorgekommen), um das 1,500 fache hinter dem Bedürfniss zurückbleiben.

Kapitel XII.

Ueber Deutlichsehen und Scharfsehen.

Mehrere namhafte Schriftsteller, wie Treviranus, erklären sich gegen die Verwechselung von Scharfsehen und Deutlichsehen. Deutlichkeit des Gesichts, sagt dieser *), beruht auf der Bestimmtheit der Umrisse, Schärfe auf der Unterscheidbarkeit der kleinen und kleinsten Theile des sichtbaren Gegenstandes. Hiernach würden sich beide schon in der Erscheinung unterscheiden, während ich nur zugeben möchte, dass sie sich in ihren organischen Gründen verschieden verhalten.

Nach meiner Ansicht hängt die vollkommenste Perception eines Gesichtsobjectes von zwei Bedingungen ab, von passender Beleuchtung und Unterscheidung der kleinsten Theile, indem mit dieser Unterscheidung die Schärfe der Umrisse zugleich gegeben ist. Anlangend die Beleuchtung, so sind ihre Verhältnisse nicht streitig und können übergangen werden, mit dem deutlich und scharf Sehen aber verhält es sich, wie ich glaube, auf folgende Weise.

Ein Object 1, 2, *Fig.* 23 *Tab. III.*, bestehe aus 2 Theilen, welche das Auge in passender Gesichtsweite deutlich erkennen würde. Es werde aber das Object in zu grosser Nähe betrachtet, so dass die Lichtkegel erst hinter der *retina* R R ihre Vereinigung finden. Jeder

---

*) Beiträge pag. 34.

Punkt des Objectes beleuchtet daher auf der Netzhaut eine Scheibe. Die Partie 1 des Objectes hat ihr Bild zwischen l n, die Partie 2 zwischen m o. Auf dem Stücke der Netzhaut m n schieben sich also die Bilder der Partien 1 und 2 übereinander, und gleichmässig decken sich in der Empfindung ihre Konture.

Sind die Partien, deren Konture wegen falscher Accommodation sich decken, von verschiedener Farbe, so entsteht der Eindruck der Mittelfarbe. Ein weisser Stoff mit zarten Purpurstreifen wird nach Befinden von einem weitsichtigen Auge richtig erkannt, von einem kurzsichtigen dagegen für einfarbig rosenroth genommen.

Vollkommen dieselben Verhältnisse gelten in Bezug auf Scharfsichtigkeit. Es seien 1 2 derselben Figur die kleinsten erkennbaren Theile, welche, bei richtiger Strahlenbrechung, sich vollkommen ausschliessende Bilder 1′ 2′ auf der Netzhaut N N darstellen. Diese kleinsten erkennbaren Theile bestehen aber in der Wirklichkeit aus noch kleinern Theilchen a b, die zwar ihre entsprechenden Bilder auf der Netzhaut haben, aber als zu klein keine gesonderte Empfindung zu erzeugen vermögen.

Die Netzhautstelle 1′ ist ihrem Baue nach nur befähigt, eine Grösse wie 1 zu erkennen, nicht aber ein so kleines wie a und b. Gleichwohl wird das Netzhautbildchen eben so gut durch a, in der einen Hälfte, als durch b, in der andern, hervorgerufen, und es fallen daher die Konture von a und b auch hier zusammen, zwar nicht im Bildchen der Netzhaut, wohl aber in der Empfindung. Gesetzt, die beiden Theilchen 1, 2, beständen aus gelben a und blauen b, so könnte das Object weder gelb noch blau, sondern nur grün gesehen werden. Die Er-

fahrung bestätigt dies, denn durch Vermischung von gelbem und blauem Farbenpulver entsteht ein grünes.

Hiernach wüsste ich Scharfsehen und Deutlichsehen in der Erscheinung nicht zu trennen. Auch kann man jene Worte als vollkommen gleichbedeutend gebrauchen, man müsste denn auf den Unterschied des Grundes der erwähnten Erscheinung hinweisen wollen, wovon aber der Sprachgebrauch nichts weiss. Wir confundiren ein objectiv Doppeltes zu einem subjectiv Einfachen, und zwar trotz vollkommenster Vereinigung des Lichtes im *Focus* bei einer gewissen Kleinheit des Objectiven, wegen beschränktem Unterscheidungsvermögem der Nervenhaut — oft aber, mehr als nach der Struktur der Nervenhaut nöthig wäre, wegen unpassender Brechung des Lichtes.

Das Deutlichsehen hängt noch von verschiedenen äussern Umständen ab, deren einige hier Erwähnung finden mögen. Diejenige Art des Deutlichsehens, welche ihren Grund in dem Vermögen der Nervenhaut hat, die möglichst kleinsten Theilchen eines Objectes zu unterscheiden, wächst, wenn nicht Accommodationsfehler hinderlich werden, in gleichem Verhältniss wie die Nähe des Objectes. Daher kommt es, dass kurzsichtige Menschen, bei übrigens gesunden Augen, die scharfsichtigern sind, und dass Lupen, welche den Refractionsfehler heben, ein Unterscheiden viel kleinerer Theilchen an Objecten möglich machen. Auf das Scharfsehen, in dem Sinne wie T r e v i r a n u s das Wort gebraucht, hat nur der Bau der Netzhaut Einfluss, worüber in dem VII. Kap. das Nöthige bemerkt wurde.

Das Deutlichsehen, welches von der Vereinigung der Lichtstrahlen auf der Netzhaut abhängt, wird auch durch die Entfernung bestimmt, wie im Vorhergehenden zur Genüge gezeigt ist. Die Weitsichtigkeit hat ihre Grenze,

was Hück *) verkannt hat, wenn er behauptet, dass alles undeutlichere Sehen bei grossen Entfernungen von Mangel an Scharfsichtigkeit abhänge. So hat er, nach meinen Erfahrungen, namentlich Unrecht, wenn er den entscheidenden Versuch Porterfield's (s. Kap. VIII. Nr. 10) nur für kurzsichtige Augen gültig hält. Ich habe gefunden, dass auch die weitsichtigsten Menschen durch 2 Kartenlöcher ein hinreichend entlegenes Object doppelt sehen. Die Erfahrung, dass von wohlgebauten Augen selbst die entferntesten Sterne deutlich gesehen werden, ist wohl nicht schlagend, weil sich über das deutliche Sehen eines Glanzlichtes schwer entscheiden lässt. Indess sind die Accommodationsfehler für ferne Gegenstände bei wohlgebauten Augen allerdings sehr unbedeutend.

Treviranus **) hat die Form- und Distanzverhältnisse der brechenden Medien erörtert, welche auf das Deutlichsehen von Einfluss sind. Er giebt S. 43 eine Tabelle, in welcher die Thiere nach ihrer Weitsichtigkeit geordnet sind. Die Weitsichtigkeit soll abnehmen, wie die Entfernung der hinteren Fläche der Linse von der Netzhaut, daher im Allgemeinen die Kurzsichtigkeit zunehme mit der Kleinheit der Augen und der Thiere.

Schon aus theoretischen Gründen hat mich dieses Resultat befremdet. Da nämlich Lichtstrahlen, welche durch die Linse gehen, um so früher Vereinigung finden, je mehr parallel sie einfallen, so sollte man vermuthen, dass unter übrigens gleichen Umständen sehr entfernte Objecte um so eher deutlich gesehen würden, je näher die

---

*) Das Sehen, seinem äussern Process nach entwickelt. Riga 1830. S. 95 und 98.

**) Beiträge S. 94.

Netzhaut an der Linse läge, also je kleiner das Auge wäre. In der That sehen wir zu weite Objecte nur darum undeutlich, weil die Lichtstrahlen sich vor der Netzhaut kreuzen, oder mit andern Worten, weil die Distanz zwischen Netzhaut und Linse nicht klein genug ist.

Indess scheint mir auch die Erfahrung der Ansicht nicht günstig, dass mit der Kleinheit der Augen die Weitsichtigkeit abnehme. Die Weitsichtigkeit der Vögel beweist zu deutlich das Gegentheil. Ich kann nämlich nicht annehmen, dass das Vermögen der Vögel, sehr kleine und entfernte Gegenstände zu unterscheiden, sich allein durch ihre Scharfsichtigkeit erklären lasse. Wenn ein Rothkehlchen, wie Treviranus nach L. A. Schmid erzählt, auf 18 Fuss Entfernung die feinsten Brodkrümchen erkannte, so spricht dies allerdings für eine Einrichtung der Netzhaut, welche kleinere Theilchen zu unterscheiden gestattet, als die Augen der meisten Menschen wahrzunehmen vermögen, aber der Fall beweist eben so gewiss eine passendere Strahlenbrechung als beim Menschen. Sollte nämlich der Netzhaut ihre Scharfsichtigkeit zu Statten kommen, so durfte ihre Wirkung nicht durch fehlerhafte Brechungsverhältnisse aufgehoben werden. Dass aber bei einer so beträchtlichen Entfernung, wie 18′, von Seiten der Accommodation keine Störung erfolgte, die bei kurzsichtigen Menschen schon in grösserer Nähe eingetreten sein würde, beweist eben eine auffallende Weitsichtigkeit. Ich würde daher geneigt sein anzunehmen, dass das Vermögen der Weitsichtigkeit, unter übrigens gleichen Verhältnissen, mit der Kleinheit des Auges zunehme.

Kapitel XIII.

Untersuchung des unmittelbaren Einflusses der Pupillenbewegungen auf Accommodation des Auges.

Wenn die Verengerung und Erweiterung der Pupille den Gang der einfallenden Lichtstrahlen zu Gunsten des Scharfsehens ändert, so ist ihr Einfluss auf das Einrichtungsvermögen ein unmittelbarer, wenn sie dagegen, Statt selbst den Gang der Lichtstrahlen zu regeln, nur andre Veränderungen im Auge hervorruft, Veränderungen, ohne deren Mitwirkung die Thätigkeit der Pupille nutzlos wäre, so ist ihr Einfluss ein mittelbarer. Wir beschäftigen uns zuvörderst nur mit dem unmittelbaren Einfluss der Pupillenbewegung.

1) Betrachtet man die Pupille nur als eine Oeffnung, deren Grösse die Basis des Lichtkegels bestimmt, der von einem leuchtenden Punkte in das Auge fällt, so ist ihr unmittelbarer Einfluss auf Accommodation in folgendem Falle unverkennbar.

Es sei *(Fig.* 18 *Tab. III.)* w ein leuchtender Punkt, a b der Durchmesser der Pupille, a w b ein vom leuchtenden Punkte ausgehender Lichtkegel, welcher, wegen zu grosser Nähe des erstern, hinter der *retina* R R bei y seinen Vereinigungspunkt findet. Hier entsteht Statt eines Punktes auf der Netzhaut eine Scheibe, deren Diameter so gross ist, als die Entfernung der Stellen der *retina*, wo die Grenzstrahlen des Lichtkegels a y, b y auffallen. Zöge sich nun die Pupille auf c d zusammen, so würde der convergierende Lichtkegel a y b um ein entsprechendes verschmälert, die Strahlen c y, d y, würden die Grenzstrahlen, und die Lichtscheibe, welche dem Lichtpunkte w entspricht, wäre

nun um so viel kleiner, als der ∠ c y d kleiner ist als a y b *).

Gesetzt, man betrachtete zwei nebeneinander liegende, durch einen kleinen Zwischenraum getrennte, Punkte v w, so ergiebt sich schon aus der Figur, dass beide Punkte, bei erweiterter Pupille, als Einheit erscheinen müssen, indem die ihnen entsprechenden Lichtscheiben, wie die Figur zeigt, sich theilweise decken, während bei verengerter Pupille die Bilder für v w allerdings in ihrer Duplicität sich darstellen.

Obgleich in vorstehendem Falle die Verengerung der Pupille den Strahlengang zu Gunsten des Scharfsehens verändert, so ist doch die Verbesserung nur eine unvollständige. Vereinigen sich die Lichtstrahlen von v w bei x, y, so kann die Verengerung der Pupille nur die Lichtscheiben verkleinern, nicht aber auf Punkte reduziren.

Die Figur zeigt, dass Verkleinerung der Pupille denselben Nutzen gewähren würde, wenn v w, als zu weit gelegen, schon vor der Netzhaut N N ihre Strahlen vereinigten. Auch hier würden Lichtkegel, welche durch die erweiterte Pupille a b in das Auge fielen, die grösseren Lichtscheiben bedingen.

Da nun bei Betrachtung entfernter Gegenstände die Pupille sich bekanntlich erweitert, so kann in Bezug auf die hier geltend gemachten Umstände die Bewegung der Pupille nicht das Motiv der Accommodation sein. Sie nützt durch Verschmälerung der Lichtkegel bei Betrachtung des Nahen, schadet aber durch Verbreiterung derselben bei Beobachtung eines Fernen. Daher kommt es,

*) Die hier aufgestellten Behauptungen werden modifizirt durch die Abweichung der Lichtstrahlen von der geraden Linie, welche, als unbekannt, hier nicht berücksichtigt werden können.

dass **Myopen** nach fernen Gegenständen blinzeln und durch ein kleines Kartenloch in grösserer Entfernung lesen können, als mit blosem Auge.

2) **Mile** *) erklärt die Accommodation des Auges ebenfalls durch Bewegung der Pupille. An dem scharfen Rande der Iris, wie an jedem andern scharfen Rande, tritt Beugung der Lichtstrahlen ein und es beugen sich die Strahlen nach optischen Erfahrungen sowohl nach dem Rande zuwärts als abwärts.

Es sei *(Fig. 19 Tab. III.)* x ein leuchtender Punkt, welcher Lichtbündel an den scharfen Kanten der Iris a und b vorbei streichen lässt. Das an a vorbeigehende Licht wird durch Diffraction getrennt, und zerfällt in die Strahlen a c, a d, a e, welche die Sehachse x y in den Punkten l, m, n schneiden. Das bei b inklinirte Licht zerfällt in die Strahlen b f, b g, b h, welche die Sehachse ebenfalls bei l, m, n schneiden. Demnach sind l, m, n die Brennpunkte der durch Diffraction entstandenen Lichtkegel. Hieraus wird gefolgert, dass die Lichtstrahlen des Objectes x nicht blos in einem Punkte m der Netzhaut N N vereinigt werden, sondern dass die Vereinigung eben sowohl bei l als n zu Stande kömmt, daher das Licht, bei kleinen Verschiedenheiten der Entfernung, demohngeachtet auf der Netzhaut seine Vereinigung finde. Aus dieser Theorie erkläre sich, 1) warum das Haar in Versuch Nr. 3 Kap. X in einer gewissen Strecke gleich deutlich gesehen werde (wir haben eine andre Erklärung gegeben), 2) wie Verengerung und Erweiterung der Pupille das Auge für alle Entfernungen adjustire. Gesetzt nämlich: das Object x liege zu nah, und vereinige sein Licht erst hin-

---

*) Magendie Journal de Physiol. VI. pag. 166.

ter der Netzhaut R R, so bedürfe es nur einiger Contraction der Pupille, um den Brennpunkt l bis auf die Netzhaut vorzubringen, oder im Gegentheil x liege zu fern, und vereinige sein Licht schon vor der *retina* R′ R′, so werde mit einer kleinen Erweiterung der Pupille der *Focus* n auf R′ R′ zurückgebracht.

Das Unzulässige dieser Theorie hat Treviranus gründlich nachgewiesen. Der Hauptfehler ist, dass Mile nur die wenigen Strahlen, welche an den Rändern der Iris hinstreifen, zur Erklärung des Bildes benutzt, und die Hauptmasse des Lichtes, welches ohne Inklination durch die Pupille strömt, ganz vernachlässigt. Ein zweiter wichtiger Einwurf ist, dass die gebeugten Lichtstrahlen nicht nur in dem Brennpunkte m, der in der Sehachse liegt, sondern auch in den Brennpunkten o und p, die neben der Sehachse liegen, Empfindung begründen müsste. Dann würde der leuchtende Punkt auf der Netzhaut immer wieder als Scheibe sich darstellen, deren Durchmesser o p wäre.

3) Auch Treviranus hält die Bewegungen der Pupille für das einzige Mittel, durch welches das Auge sich den verschiedenen Entfernungen der Objecte anpasst. Nach seinen Berechnungen würde eine geschichtete Linse unter der Bedingung fähig sein, Lichtstrahlen aller Entfernungen in einem, dem Bedürfniss entsprechenden, kleinen Punkte zu vereinigen, wenn die einfallenden Lichtkegel durch eine Oeffnung in die geschichtete Linse fielen, deren Halbmesser sich nach einem entsprechenden Gesetze vergrösserte und verkleinerte. Wenn nämlich der Halbmesser der Oeffnung stets so gross ist, dass er dem Produkt aus dem Sinus des Winkels, welchen die äussersten von dem Object ausgehenden Strahlen mit der Achse der brechenden Fläche machen, in die Entfernung des Objects, vom Centrum

dieser Fläche, entspricht und dem Produkt einen beständigen Werth ertheilt, so können alle durch die geschichtete Linse gehenden Strahlen in einem *Focus* vereinigt werden.

Treviranus glaubt gefunden zu haben, dass, ungeachtet des Lichteinflusses auf die Pupille, diese sich nach dem erwähnten Gesetze verengere und erweitere (Neue Beiträge §. 20, 21, 27).

Wir müssen die Prüfung dieser Theorie, in ihrem mathematischen Fundament, Sachverständigen überlassen und beschränken uns darauf, zu untersuchen, ob die Annahme: die Bewegungen der Pupille seien das einzige Mittel, durch welches die Augen der Entfernung sich anpassen, mit den Erscheinungen des Sehens übereinstimmen.

4) Gegen jede Theorie, welche das Einrichtungsvermögen des Auges von den Bewegungen der Pupille allein ableitet, lassen sich mehrere, wie mir scheint, entscheidende Thatsachen anführen.

a) Wäre Pupillenbewegung das einzige Hülfsmittel der Accommodation, so müsste auch jede Bewegung der Pupille eine Veränderung im Accommodationszustande des Auges hervorrufen. Setzen wir den Fall, ein Auge sehe ein Object bei 10″ Entfernung vollkommen deutlich, und müsse, um es bei 15″ vollkommen deutlich zu sehen, eine Erweiterung der Pupille um 0,01″ hervorbringen, so würden dieselben Erweiterungen unter allen Umständen das Auge auf 15″ Entfernung accommodiren müssen. Es lässt sich nämlich nicht einsehen, wie dieselbe, durch keinen Nebenumstand motivirte, Thätigkeit jemals einen andern Effect haben sollte. Nun hängt aber die Grösse der Pupille von der Beleuchtung ab, und so müsste jede Veränderung der Pupillenweite nicht blos eine Veränderung im Lichteffecte, sondern auch im Deutlichsehen

Conture veranlassen. Es müsste, wenn wir bei unvollkommner Beleuchtung ein Object in richtiger Refraction sähen, bei lebhafterem Lichte dieses Object, in Folge der Pupillenverengerung, nun minder scharf erscheinen. Die Paradoxie ist hier in die Augen fallend, doch kann man noch folgenden Fall in's Besondere betrachten.

Man fixire ein horizontal ausgespanntes Haar der Länge nach mit einem Auge, während das andre geschlossen ist. Dann tritt die (Kap. XI. Nr. 3) besprochene Erscheinung ein, dass der Punkt c (*Fig. 17 Tab. III.*) allein ganz scharf, alle übrigen aber minder deutlich und zwar um so undeutlicher und breiter erscheinen, je weiter sie von c entlegen sind. Treviranus erklärt dies durch die Weite der Pupille, welche nur für die Entfernung c vom Auge passe, für alle übrigen Punkte aber nicht, indem sie für die Punkte zwischen c und b nicht weit genug, für die Punkte zwischen o und a dagegen zu weit sei. Wäre diese Erklärung richtig, so müsste eine Veränderung der Pupillenweite die ganze Erscheinung ändern, und namentlich müsste Contraction derselben den Punkt c dem Auge näher bringen. Diese Contraction bezweckte ich, indem ich das 2te vorher geschlossene Auge öffnete *), indess blieb der Punkt c unverrückt stehen, eine Beobachtung, von deren Richtigkeit sich jeder überzeugen wird.

b) Das Accommodationsvermögen besteht fort bei unbeweglicher Pupille.

Betrachtet man, wie hier durchgehends geschehen ist, die Sehe nur als eine Oeffnung, deren Diameter die Breite des in die Augen fallenden Lichtkegels und gleich-

*) Bekanntlich steht die Bewegung der beiden Pupillen in sympathischem Verhältniss. Verdunkelung des einen Auges bewirkt also Erweiterung der Pupille im andern und umgekehrt.

zeitig die Winkel seiner äussersten Lichtstrahlen mit der Achse des Auges bestimmt, so müssen hierher eine Menge der Versuche von Scheiner und Porterfield gezogen werden. Zwei Kartenlöcher, durch die man sieht, sind im Grunde eine unveränderliche Pupille, von deren mittleren, die Breite des Lichtkegels nicht mit bestimmenden, Theile man abstrahiren muss. Indem wir bewiesen haben (Versuch 5, 6 Kap. XI.), dass man durch zwei Kartenlöcher einen leuchtenden Punkt in verschiedener Entfernung einfach sehen kann, haben wir für die hier vorliegende Frage schon bewiesen, dass bei unveränderlicher Pupille noch Einrichtung des Auges möglich ist. Denn obschon die Pupille sich hinter den Kartenlöchern allerdings bewegt, so ist doch diese Bewegung ohne Einfluss auf die Stärke des Lichtkegels, wenn die Löcher näher an einander stehen als die Pupille breit ist.

Fast noch gewichtiger ist der Umstand, dass man durch ein einzelnes Kartenloch, welches viel kleiner ist als die Pupille, selbst im contrahirtesten Zustande, Objecte in verschiedenen Entfernungen vollkommen scharf sehen kann.

Jeder Kurzsichtige sieht entfernte Objecte durch ein kleines Kartenloch schärfer, was in Widerspruch mit der bei Nr. 3 entwickelten Theorie ist, welche für entferntere Gegenstände eine weitere Pupille verlangt. Ich finde es nicht begründet, dass man bei einem solchen Versuche den Gegenstand näher rücken müsse, um durch das Kartenloch eben so kleine Theile des Gegenstandes zu erkennen als vorher, im Gegentheil werden mir die kleinern Theile nun erst sichtbar. In den Fenstern eines Hauses, welches gegen 400 Schritt mir gegenüber liegt, sehe ich mit unbewaffneten Augen keine Fensterstäbe, durch ein mässiges Kartenloch sehe ich sie.

Auf einem Dache, welches mir als eine glatte, ununterbrochene Masse erscheint, erkenne ich durch das Kartenloch die Ziegelreihen und kann sie zählen. Der Grund liegt, wie unter Nr. 1 entwickelt wurde, in der Verschmälerung der Zerstreuungskreise.

Wenn man durch ein Kartenloch ein Haar betrachtet (s. Kap. XI. Nr. 3), so erscheint die fixirte Stelle wieder am dünnsten, und abwärts von dem dünnsten Punkte wird das Haar nach beiden Seiten zunehmend undeutlicher und breiter. Verändert man den Fixationspunkt, so verschiebt sich die dünnste Stelle wie in dem zitierten Versuche. Es kann also auch bei unveränderter Pupille eine willkührliche Veränderung im Scharfsehen Statt finden.

Dasselbe beweisen die Fälle, wo die Pupille, durch äussern Gebrauch der Belladonna, im höchsten Grad erweitert und vollkommen unbeweglich geworden ist. Bei einer solchen Affection stellte ich den Versuch von Young an (s. Kap. VIII. Nr. 10 D. und Kap. XI. Nr. 6), wobei sich fand, dass ich die Kreuzungsstelle des Doppelbildes noch immer verändern konnte, obschon nicht innerhalb so weiter Grenzen, als bei gesundem Auge.

5) Treviranus hat durch Berechnung gefunden, dass eine vor einer geschichteten Kugel befindliche Oeffnung, durch Veränderung ihres Durchmessers zwar den *Focus* der einfallenden Lichtstrahlen modifizire, dass aber innerhalb gewisser Grenzen dieser Durchmesser sich ändern könne, ohne die Vereinigung des Lichtes in einem *Focus* zu hindern (a. a. O. §. 42). Hiermit gewinnt die Theorie des Verfassers den wichtigen Vortheil, erklären zu können, warum mässige Veränderungen der Pupillenweite, in Folge von Lichteinfluss, die Deutlichkeit des

Sehens nicht stören, sie verliert aber andrerseits eben so viel, als sie gewinnt.

Passen verschiedene Pupillenweiten (Differenz von beinah $\frac{1}{4}$ des Diameters soll ohne Einfluss auf das Scharfsehen sein, pag. 73) für eine gewisse Entfernung, so passt auch dieselbe Pupillenweite für Objecte verschiedener Entfernung, obschon nur innerhalb gewisser Grenzen. Wenn nun ein horizontal ausgespanntes Haar, auf welches man der Länge nach hinsieht, an dem fixirten Punkte am schärfsten und schmälsten erscheint (Kap. XI. Nr. 3), so kann Treviranus sich nicht wie früher *) darauf berufen, dass die Weite der Pupille nur für den fixirten Punkt passe. Nach den neuen Beiträgen erweitert sich die Pupille, bei Veränderung der Fixationsweite von 8″ auf 16″, um $\frac{1}{5}$ ihres Durchmessers; ferner eine Veränderung von beinah ein Viertel ihres Diameters hat auf den Gang der Lichtstrahlen keinen Einfluss, und folglich muss dieselbe Pupillenweite für Betrachtung von Objecten geeignet sein, die mehr nicht als 8″, in der Richtung der Augenachse, von einander entfernt sind. Nun ist aber nicht blos die Differenz von 8″, sondern schon von 1″ ausreichend, um auf die Deutlichkeit des Sehens Einfluss zu üben. Wir haben bewiesen, dass dieser verschiedene Grad der Deutlichkeit nicht vom Einfluss der Aufmerksamkeit, sondern davon abhängt, dass der nicht fixirte Punkt im Zerstreuungskreise erscheint (s. Kap. XI. und besonders Kap. XIV.). Hat nun die Veränderung der Pupillenweite innerhalb der Distanz von 8″ auf den Strahlengang keinen Einfluss, so können die Bewegungen dieses Organs

*) Beiträge zu der Lehre von dem Gesichtswerkzeuge p. 58.

die Accommodation des Auges in den angeführten Fällen (Kap. XI. Nr. 1, 3, 4) nicht erklären.

Kapitel XIV.

Ueber die Grösse der Zerstreuungskreise.

Die Aufgabe eines vollkommnen Auges ist, alles von einem Punkte ausgehende Licht in einem Punkte der Netzhaut zu vereinigen. Ob das Auge, unter Verhältnissen irgend einer Art, diese Aufgabe vollständig löse, ist fraglich, dass es in vielen Fällen dieser Aufgabe nicht genüge, ist gewiss.

Wir abstrahiren hier gänzlich von der Zerstreuung des Lichts in Folge der Linsen-Gestalt, und beschäftigen uns nur mit den Zerstreuungskreisen, welche durch fehlerhafte Accommodation bedingt werden. Der doppelte Zweck, den wir im gegenwärtigen Kapitel verfolgen, ist: 1) durch eine neue Reihe von Versuchen nochmals zu zeigen, dass durch fehlerhafte Accommodation wirklich Zerstreuungskreise bedingt werden; 2) die Grösse dieser Zerstreuungskreise für gewisse Fälle, wenigstens annäherungsweise, zu bestimmen.

Bei Bestimmung der Grösse der Zerstreuungskreise gehen wir von folgenden Principien aus: Jeder beleuchtete Punkt der Netzhaut trägt seine Empfindung in gerader Linie durch den Drehpunkt des Auges in die Aussenwelt (Kap. IV. Vers. 8, Kap. IX.). So trägt der Punkt p′ des Auges A A (*Tab. II. Fig.* 9) seine Empfindung durch den Drehpunkt c nach p, und der Punkt l″ durch c nach l. Wäre p″ l″ der Diameter des Netzhautbildes, so wide

p l der Diameter einer Gesichtserscheinung sein, deren Entfernung vom Drehpunkte des Auges gemessen würde durch die Linie c n. Mit andern Worten: wenn P P ein Bogen Papier wäre, so würde das Netzhautbildchen p″ l″ eine Erscheinung bedingen, welche auf dem Bogen die Stelle l p deckte. Nothwendig ist l p proportional p″ l″, das heist l p : p″ l″ = n c : c x, indem wir den Bogen p″ l″ für geradlinig nehmen dürfen.

Hätte ein leuchtender Punkt n, in Folge fehlerhafter Accommodation, statt eines Punktes auf der Netzhaut einen Zerstreuungskreis vom Durchmesser p″ l″ gebildet, so würde statt einer punktförmigen Erscheinung eine leuchtende Scheibe von dem Durchmesser l p auftreten.

Eine solche Scheibe ist messbar, denn sie ist so gross, wie die Stelle eines vorgehaltenen Papierbogens, welche sie deckt. Nennen wir die Entfernung, in welcher sich ein solcher Bogen Papier vom vordersten Punkte des Auges befindet E, so ist n c = E + 0,466″, (letzteres als Entfernung des Drehpunktes von der Hornhaut) und c x = 0,353″, als Entfernung des Drehpunktes von der Netzhaut (siehe S. 62). Hiermit sind alle Bedingnisse zu einem Regel de Tri Exempel gegeben, mittelst dessen aus der gemessenen Grösse der Erscheinung l p, sich die Grösse des Netzhautbildchens p″ l″ berechnen lässt.

$$\frac{p''c \times l\,p}{p\,c} = p''\,l''$$

Um nach den angegebenen Principien Versuche anzustellen, ist wünschenswerth, ein Zerstreuungsbild von scharfen Grenzen zu haben, weil nur dann die Grösse des objectiven Raums, den es deckt, mit Präcision messbar ist. Nun sind aber alle Zerstreuungsbilder undeutlich,

und so würde ein genügendes Experiment unmöglich sein, wenn nicht Scheiners Versuch aushülfe.

Wenn man durch 2 Kartenlöcherchen ein Object doppelt sieht, so geschicht dies, weil die Lichtstrahlen statt auf der Netzhaut sich zu vereinigen, schon vor ihr, oder erst hinter ihr zur Vereinigung kommen.

Die Lichtkegel würden Zerstreuungskreise auf der Netzhaut bilden, wenn die ganze Pupille frei wäre, da aber die vorgehaltene Karte die ganze Pupille mit Ausnahme zweier Punkte bedeckt, so formiren sich statt ganzer Lichtscheiben nur zwei kleine beleuchtete Pünktchen. Es ist einleuchtend, dass diese beiden Pünktchen nichts anders als die Grenzpunkte desjenigen Zerstreuungskreises sind, der Statt finden müsste, wenn der undurchsichtige Theil zwischen den Kartenlöchern das für die Mitte der Scheibe bestimmte Licht nicht abschnitte. Es ist demnach ganz gleichgültig, ob man den Diameter eines Zerstreuungsbildes oder die Distanz der Doppelbilder in Scheiners Versuch misst, letztere aber gewähren den überwiegenden Vortheil ausserordentlich scharfer Umrisse.

Ich experimentirte nun auf folgende Weise: Ich nahm ein Bret, welches mit einem Ausschnitt für die Nase versehen wurde, so dass es unter dem Auge bequem und fest an das Gesicht gedrückt werden konnte. Auf diesem Brete wurde, wie beim Gesichtswinkelmesser, eine gerade Linie, als verlängerte Augenachse, aufgetragen, und in dieser Linie wurde ein Haar perpendikulär aufgespannt, um das Object abzugeben, welches unter fehlerhafter Accommodation betrachtet werden sollte. Unmittelbar vor dem Auge war lothrecht eine Metallplatte aufgerichtet, welche die beiden Löcherchen enthielt, und zugleich einen Stützpunkt für die Stirn gewährte, durch

welchen die richtige Lage des Bretes bestimmt wurde. 12 Zoll vom Auge war ein verschiebbarer Maassstab angebracht, auf welchem, nach einer bekannten Eintheilung, durch Diagonallinien der Nonius bezeichnet war. Fixirte ich nun durch die beiden Löcherchen den Maassstab, so sah ich das näher befindliche Haar doppelt, und konnte die Distanz der Doppelbilder an dem Maassstabe sogleich bestimmen, und zwar mit ziemlicher Genauigkeit bis auf Hunderttheile des Pariser Zolles. Die Spezialitäten der Versuche ergeben sich aus den folgenden Tabellen. Die Kolumne I. bestimmt die Entfernung des Haars vom vordersten Punkte des Auges; Kolumne II. die scheinbare Distanz der Doppelbilder, vermessen auf einem Maassstabe von bestimmter Entfernung. In Kolumne III. ist die Distanz der Doppelbilder auf der Netzhaut, also der Diameter des Zerstreuungsbildes nach dem obigen Princip berechnet. Kolumne IV. enthält die Angabe, wie gross der Diameter des Netzhautbildes bei nicht stattfindenden Zerstreuungskreisen gewesen sein würde. Kol. V. bestimmt den Diameter eines einzelnen Zerstreuungskreises, und gewährt also das absolute Maass der Zerstreuung. Diess muss sich finden, wenn man die Grösse des scharfen Bildes der Kol. IV. von der Grösse des verbreiterten Bildes der Kol. III. abzieht. Die Verbreiterung des Bildes, in Folge fehlerhafter Accommodation, ist nämlich allein abhängig von der Verbreiterung der beiden Grenzpunkte des betrachteten Objectes, deren jeder sich um die Grösse seines Halbmessers über die Grenzen des scharfen Bildes nach aussen schiebt. Die zweite Hälfte des Zerstreuungskreises fällt in das Bild hinein und trägt zur Vergrösserung nichts bei. Zieht man die Grösse des scharfen Bildes von der des Zerstreuungsbildes ab, so bleibt der doppelte

Halbmesser der beiden äussersten Zerstreuungskreise, oder der Durchmesser Eines solchen übrig.

Tabelle A.

Entfernung des fixirten Maassstabes 12,1″; Dicke des Haars, welches zwischen dem Fixationspunkte und dem Auge befindlich war, 0,002″; Distanz der beiden Löcherchen, durch welche die Doppelbilder erzeugt wurden 1‴; Entfernung dieser Löcherchen vom Auge 0,3″.

I. Entfernung des Haars vom vordersten Punkte der Hornhaut.	II. Scheinbare Distanz der Doppelbilder, auf 12,1″ Entfernung.	III. Distanz der Netzhautbilder.	IV. Erforderliche Grösse des Netzhautbildes ohne Zerstreuung.	V. Diameter des Zerstreuungskreises.
2,1″	0,43″ (?)	0,01208″	0,00028″	0,01180″
3,1″	0,24″	0,00674″	0,00020″	0,00654″
4,1″	0,18″	0,00506″	0,00016″	0,00490″
5,1″	0,12″	0,00337″	0,00013″	0,00324″
6,1″	0,09″	0,00253″	0,000108″	0,002422″
7,1″	0,05″	0,00140″	0,000093″	0,001307″
8,1″	0,03″	0,000843″	0,000081″	0,000762″
9,1″	0,02″	0,000562″	0,000074″	0,000488″
10,1″			0,000067″	

Tabelle B.

Distanz der Sehlöcher $1\frac{1}{2}$‴, alle übrigen Verhältnisse wie in Tabelle A.

Kol. I.	Kol. II.	Kol. III.	Kol. IV.	Kol. V.
2,1″	0,55″ (?)	0,01545″	0,00028″	0,01517″
3,1″	0,36″	0,01011″	0,00020″	0,00991″
4,1″	0,24″	0,00674″	0,00016″	0,00668″
5,1″	0,15″	0,00421″	0,00013″	0,00408″
6,1″	0,10″	0,00280″	0,000108″	0,002692″
7,1″	0,06″	0,00169″	0,000093″	0,001597″
8,1″	0,04″	0,00112″	0,000081	0,001039″

Tabelle C.

Distanz der Sehlöcher $1\frac{1}{4}'''$, alle übrigen Verhältnisse wie in Tabelle A.

Kol. I. Entfernung des Haars vom vordersten Punkte der Hornhaut.	Kol. II. Scheinbare Distanz der Doppelbilder auf 12,1″ Entfernung.	Kol. III. Distanz der Netzhautbilder.	Kol. IV. Erforderliche Grösse der Netzhautbilder ohne Zerstreuung.	Kol. V. Diameter des Zerstreuungskreises.
2,1″	0,50″	0,01405″	0,00028″	0,01377″
3,1″	0,30″	0.00843″	0,00020″	0,00823″
4,1″	0,20″	0,00562″	0,00016″	0,00546″
5,1″	0,14″	0,00393″	0,00013″	0,00380″
6,1″	0,09″	0,00253″	0,000108″	0,002422″
7,1″	0,06″	0,00169″	0,000093″	0,001597″
8,1″	0,03″	0,000843″	0,000081″	0,000762″
9,1″	0,02″	0,000562″	0,000074″	0,000488″

Tabelle D.

Distanz der Sehlöcher $\frac{1}{2}'''$; die übrigen Verhältnisse wie in Tabelle A.

Kol. I.	Kol. II.	Kol. III.	Kol. IV.	Kol. V.
2,1″	0,30″	0,00843″	0,00028″	0,00815″
3,1″	0,17″	0,00478″	0,00020″	0,00458″
4,1″	0,12″	0,00345″	0,00016″	0,00329″
5,1″	0,07″	0,00197″	0,00013″	0,00184″
6,1″	0 04″	0,00112″	0,000108″	0,001012″
7,1″	0,03″	0,000843″	0,000093″	0,000750″
8,1″	0,02″	0,000561″	0,000081″	0,000481″
9,1″			0,000074″	
10,1″	0,01″ (?)	0,000281″	0,000067″	0,000214″

Tabelle E.

Entfernung des fixirten Maassstabes 10,1″; Dicke des Haars, welches zwischen dem fixirten Punkte und dem Auge stand 0,003; Distanz der Sehlöcherchen 1‴; Abstand dieser Löcherchen vom Auge 0,3″.

Kol. I. Entfernung des Haars vom vordersten Punkte der Hornhaut.	Kol. II. Scheinbare Distanz der Doppelbilder auf 12,1″ Entfernung.	Kol. III. Distanz der Netzhautbilder.	Kol. IV. Erforderliche Grösse der Netzhautbilder ohne Zerstreuung des Lichtes.	Kol. V. Diameter des Zerstreuungskreises.
3,1″	0,20″	0,00668″	0,00029″	0,00639″
4,1″	0,15″	0,00500″	0,00023″	0,00477″
5,1″	0,08″	0,00267″	0,00019″	0,00248″
6,1″	0,06″	0,00200″	0,00016″	0,00184″
7,1″	0,04″	0,00134″	0,00014″	0,00120″
8,1″	0,03″ (?)	0,00100″	0,00012″	0,00088″
9,1″	0,02″ (?)	0,00067″	0,00011″	0,00056″

Tabelle F.

Alle Verhältnisse wie in Tabelle E. Entfernung des Fixationspunktes 8,1″.

Kol. I.	Kol. II.	Kol. III.	Kol. IV.	Kol. V.
2,1″	0,30″ (?)	0,01237″	0,00041″	0,01196″
3,1″	0,15″	0,00618″	0,00029″	0,00589″
4,1″	0,08″	0,00330″	0,00023″	0,00307″
5,1″	0,06″	0,00247″	0,00019″	0,00228″
6,1″	0,03″	0,00124″	0,00016″	0,00108″
7,1″	0,02″	0,00082″	0,00014″	0,00068″

Tabelle G.

Alle Verhältnisse wie in Tabelle E. Entfernung des Fixationspunktes 6,1″.

Kol. I.	Kol. II.	Kol. III.	Kol. IV.	Kol. V.
2,1″	0,17″	0,00914″	0,00041″	0,00873″
3,1″	0,08″	0,00430″	0,00029″	0,00401″
4,1″	0,05″	0,00269″	0,00023″	0,00246″
5,1″	0,02″ (?)	0,00108″	0,00019″	0,00089″

In allen vorstehenden Versuchen liegt das betrachtete Object im Verhältniss zur Einrichtung des Auges, zu nah, es war wünschenswerth, nun auch die Erscheinungen des entgegengesetzten Verhältnisses zu prüfen und die Grösse der Zerstreuungsbilder in den Fällen zu untersuchen, wo das Object weiter vom Auge liegt als der Fixationspunkt. Ich liess mir zu diesem Zweck einen Maassstab auf eine Glastafel einreissen, brachte diese zwischen das entfernte Object (eine Nadel) und die beiden Löcherchen, durch welche das Auge blickte, fixirte die Linien des Maassstabes, und verglich die Distanz des Doppelbildes der Nadel mit der Eintheilung dieses Maasses.

Bei aller Sorgfalt, die ich anwendete, liessen sich nur sehr unsichre Resultate gewinnen. Erstens musste ich mich überaus anstrengen, um die Erscheinung zu erkennen, woraus schon Irrthümer entstehen konnten, und zweitens handelte es sich hier um so kleine Maasse, dass Irrthum ganz unvermeidlich wurde. Nachstehende Tabelle kann daher nur das Interesse haben anschaulich zu machen, wie klein die Zerstreuungskreise zu fern liegender Objecte sind *).

*) Nach optischen Gesetzen kann diese Kleinheit nicht zweifelhaft sein. Der treffliche Porterfield (*a treatise on the eye Vol. II. pag.* 2) hat auf eine sehr populäre Weise gezeigt, dass das Auge keine grössere Veränderung brauchen würde, sich für einen unendlich fernen Punct einzurichten, als es braucht, um sich von dem nächsten Punkt, den es perfect deutlich sieht, bis zum fernsten Punkt, den es perfect sieht, zu accommodiren, vorausgesetzt nämlich, dass der fernste Punkt, den es ganz deutlich sieht, von dem nächsten, den es ganz deutlich sieht, nicht weniger entfernt ist, als dieser letzte Punkt vom Auge selbst.

Tabelle H.

Entfernung des fixirten Maassstabes 6,1''; Dicke der Nadel, welche jenseits des Fixationspunktes aufgesteckt wurde 0,02; Distanz der Löcherchen 1'''; Abstand dieser vom vordersten Punkte des Auges 0,3''.

Kol. I. Entfernung der Nadel vom Dreh-punkt des Auges.	Kol. II. Scheinbare Distanz der Doppelbil-der.	Kol. III. Distanz der Netzhaut-bilder.	Kol. IV. Erforderliche Grösse des Netzhautbil-des ohne Zerstreuung.	Kol. V. Diameter des Zerstreu-ungskrei-ses.
10,566''	0,03''	0,00161''	0,00067''	0,00094''
15,566''	0,04''	0,00213''	0,00045''	0,00168''
20,566''	0,05''	0,00268''	0,00034''	0,00234''
25,566''	0,06''	0,00322''	0,00027''	0,00295''
35,566''	0,07''	0,00376''	0,00020''	0,00356''
45,566''	0,07'' (?)	0,00376''	0,00015''	0,00361''

Bei derselben Entfernung des Maassstabes vom Auge schien mir die Distanz der Doppelbilder eines 400 Schritt entlegenen Objectes nur 0,08''! —

Bei Würdigung vorstehender Beobachtungen ist zu berücksichtigen, dass die Distanz der beiden Löcherchen, durch welche gesehen wurde, den Winkel bestimmt, welchen die Strahlen eines leuchtenden Punktes mit der Sehachse machen. Veränderungen in der Distanz der Sehlöcherchen müssen demnach analoge Folgen haben, als Veränderungen im Durchmesser der Pupille. Bei der geringen Entfernung der Sehlöcherchen von der Pupille müssen die Folgen sogar ziemlich gleich sein, wenigstens in den Fällen, wo die Sehweite nicht gar zu klein war, kann man die Distanz der Sehlöcherchen und den Durchmesser der Pupille füglich als äqual setzen.

Die Schlüsse, zu welchen wir uns nach vorstehenden Tabellen berechtigt halten, sind folgende:

1) Ein leuchtender Punkt erscheint, unter ungünstigen Verhältnissen, in einem Zerstreuungskreise, dessen Durchmesser, den Umständen nach, sehr verschieden sein kann.

2) Bei gleichbleibender Distanz der Sehlöcherchen (unveränderter Pupille) wächst der Durchmesser des Zerstreuungskreises mit zunehmender Entfernung des leuchtenden Gegenstandes vom Fixationspunkte. Die Differenz Eines Zolles in dieser Entfernung kann, bei zu nahe liegenden Objecten, bereits den merklichsten Einfluss äussern.

3) Bei gleicher Distanz der Sehlöcherchen und gleichem Abstand des leuchtenden Objectes, wächst der Durchmesser der Zerstreuungskreise mit Veränderung der Fixationsweite. So ist bei Betrachtung eines Haares auf 5″ Entfernung und bei Distanz der Sehlöcherchen von 1‴, der Diameter des Zerstreuungskreises

0,00089″ bei 6 Zoll Fixationsweite (*Tab. G.*)
0,00228″ = 8 = = (*Tab. F.*)
0,00248″ = 10 = = (*Tab. E.*)
0,00324″ = 12 = = (*Tab. A.*)

Auch hier erzeugen sehr geringe Veränderungen, in Bezug auf die Fixationsweite, sehr beträchtliche Veränderungen im Durchmesser des Zerstreuungskreises.

4) Bei gleicher Fixationsweite (12,1″) und gleich ungünstigem Abstand des leuchtenden Objectes vom Auge (5,1″), erhalten sich die Durchmesser der Zerstreuungskreise nicht proportional der Distanz der Sehlöcherchen (Pupillenweite), was bei dem gebrochnen Gange der Lichtstrahlen im Auge wenig befremden kann. — Gestatten

obige Tabellen die Kurven der gebrochnen Lichtstrahlen zu berechnen?

5) Die Grösse des Zerstreuungskreises steht zur Entfernung des Objectes vom Fixationspunkte in keiner arithmetischen Proportion.

6) Da bei derselben Distanz der Sehlöcher (oder, was gleichbedeutend ist, bei derselben Weite der Pupille) und bei derselben Entfernung des Objectes, der Durchmesser der Netzhautbilder so verschieden sein kann, wie unter No. 3 angegeben wurde, so muss ausser den Veränderungen der Pupille noch eine andere Ursache vorhanden sein, welche jene Differenzen veranlasst.

7) Wenn, vermöge fehlerhafter Accommodation, Zerstreuungskreise entstehen, so genügt eine Veränderung der Pupillenweite von $\frac{1}{5}$ ihres Diameters, um merkbare Differenzen im Durchmesser des Zerstreuungsbildes hervorzubringen (vergleiche *Tab. B* und *C.*). Hieraus darf man folgern, dass wenn Erweiterung der Pupille, in Folge von Beschattung des Auges, das Deutlichsehn nicht stört, der Grund weniger darin liegt, dass Veränderungen ihres Diameters innerhalb gewisser Grenzen ohne Einfluss sind, als darin, dass bei richtiger Accommodation des Auges dieser Einfluss in Wegfall kommt.

Schliesslich mögen noch ein Paar Worte über die Zuverlässigkeit vorstehender Beobachtungen folgen.

Man würde Unrecht thun, sie aus dem Grunde von sich zu weisen, weil es unmöglich sei, im Gesichtsfelde mehrere Gegenstände zugleich nur mit einiger Zuverlässigkeit aufzufassen. Gegen diesen Einwurf habe ich erstens zu bemerken, dass ein geübtes Auge mit ganz andrer Schärfe sieht, als ein ungeübtes, zweitens verweise ich auf die Tabellen selbst, die zwar Spuren von feinern

Beobachtungsfehlern allerdings an sich tragen, andrerseits aber auch durch das proportionale Verhältniss der einzelnen Beobachtungen unter sich für die Richtigkeit der Resultate im allgemeinen einstehn.

Ich bin im Stande, während ich den Maassstab durch die Kartenlöcher fixire, die Distanz der Doppelbilder eines Haares bis auf halbe Hunderttheile des Zolls zu bestimmen; an der Schärfe der Gesichtserscheinung ist also nichts auszusetzen. Dagegen ist es schwer, genau den Maassstab zu fixiren und nie das Auge auf einen entlegneren oder nähern Punkt einzurichten. Aber auch aus diesem Uebelstande scheinen keine beträchtlichen Irrthümer für ein geübtes Auge erwachsen zu können. Bei einer Wiederholung der Beobachtungen, welche in den Tabellen A. E. F. G. verzeichnet sind, fand ich keinen einzigen Fehler in den Maassen der Kolumne II., welcher 0,01 überstiegen hätte, oft traf die Dezimale vollständig. Nur ein Paar Mal in Allem differirten Messungen um 0,02, doch gilt dies nicht für Tabelle G, wie schon bemerkt worden.

Anlangend die Berechnungen der Netzhautbilder, so versteht es sich, dass diese nur so weit richtig sein können, als die Entfernung des Drehpunktes mit 0,466″ vom vordersten Punkte der Hornhaut, und mit 0,353″ vom Achsenpunkte der Netzhaut, für mein Ange richtig angenommen ist. Da es hier mehr auf die Proportionen der Zerstreuungsbilder als auf ihre absolute Grösse ankommt, so genügt es, die Stellung des Drehpunktes ungefähr zu kennen und allen Beobachtungen dieselbe Annahme zu Grunde zu legen.

Kapitel XV.

Von der Stellung der Augenachsen, in ihrem Wechselverhältniss zum Accommodationsvermögen.

Da wir die Richtung der Augenachsen bei verschiedener Entfernung der Objecte ändern, um diese auf die empfindlichsten Stellen der Netzhäute zu nehmen, und da nach der Entfernung der Objecte die Augen sich einrichten, so versteht es sich von selbst, dass die Bewegungen der Sehachsen und die Accommodationsthätigkeit in einer gewissen Beziehung zu einander stehen.

Indess suchte Porterfield durch sehr genaue Versuche zu beweisen, dass die gedachte Beziehung eine wirklich causale sei.*) Dasselbe behauptete J. Müller,**) wie es scheint unabhängig von seinem Vorgänger, jeden Falls bleibt ihm das Verdienst, ein bemerkenswerthes Moment in der Physiologie des Auges der Vergessenheit entrissen zu haben. Nach beiden Beobachtern stellt sich die Theorie wie folgt:

I. Falsche Stellung der Augenachsen, d. h. eine solche, wo die Augenachsen sich im betrachteten Object nicht kreuzen, bedingt fehlerhafte Accommodation.

Versuch 1. Es seien in *Fig.* 20 *Tab. III.* A B die Augen, c eine in passender Sehweite aufgesteckte Nadel, welche von dem Auge B durch 2 Kartenlöcher r s betrachtet wird. Stellt man die Augenachsen so, dass sie bei c sich kreuzen, so sieht man mit beiden Augen nur eine Nadel vollkommen deutlich bei c. Gleichzeitig

*) A treatise on the eye Vol. I. pag. 410 etc.

**) a. a. O. S. 108 u. folg.

erscheinen 2 Nadeln bei l und n doppelt, erstere als zu fern, letztere als zu nah gelegen. Richtet man aber das Auge A nach einem Punkte l, so sieht man die Nadel c im Doppelbilde bei l, und noch einmal einfach bei m. Schliesst man das linke Auge A, so verschwindet das rechte einfache Bild bei m; schliesst man das rechte Auge B, so verschwinden die Doppelbilder bei l. Nach der Theorie der Doppelbilder lehren diese Erscheinungen, dass die Kreuzung der Sehachsen hinter das betrachtete Object fällt, oder mit andern Worten, dass die Augen auf ein zu Fernes gestellt sind. Nun ist aber mit der Stellung auf ein zu Fernes auch wirklich der Fehler der Fernsichtigkeit entstanden. Für Augen, die nach l gerichtet sind, liegt c zu nah. Die Lichtstrahlen des, relativ zu nahen, c werden erst hinter der Netzhaut vereinigt und bilden ein Doppelbild, wie in Kap. VIII. Vers. 10 B. Den Beweis giebt der Umstand, dass bei Verschluss eines Kartenloches das Refractions-Doppelbild der ungleichnamigen Seite schwindet.

Richtet man aber, während das Object bei c befindlich ist, das Auge A nach n, so sieht man die Nadel doppelt bei c, und noch einmal einfach bei o. Die Verhältnisse sind genau umgekehrt wie die im vorigen Falle. Schliesst man das rechte Kartenloch, so verschwindet das rechte Refractions-Doppelbild, ein Umstand, der nur eintreten kann bei Betrachtung eines zu Weit liegenden (Kap. VIII. 10 c.). In der That liegt c relativ zu fern für Augen, welche sich dem näheren Punkte n zugewendet haben.

II. Kreuzung der Sehachsen im betrachteten Object bedingt richtige Accommodation.

Der Beleg zu dieser Behauptung ist im vorstehenden Versuche schon enthalten. Die Nadel erschien einfach, wenn die Sehachsen bei c sich kreuzen, und einfach konnte die Nadel durch 2 Kartenlöcher nur erscheinen, wenn, vermittelst richtiger Accommodation, die beiden Lichtbündel, welche in das Auge fallen, in einem Punkte vereinigt werden. Auch beim Sehen unter gewöhnlichen Verhältnissen wird ein undeutlicher Gegenstand so deutlich, als er nach den Grenzen des Accommodationsvermögens werden kann, wenn man die Sehachsen im Object sich kreuzen lässt.

III. Fehlerhafte Accommodation des Auges bedingt fehlerhafte Augenstellung.

Versuch 2. Wenn man einen Gegenstand geflissentlich undeutlich sieht, so zerfällt er in zwei Bilder, von welchen jedem Auge eins zugehört. Wenn der Versuch dem Ungeübten gelingen soll, so muss er einen recht schmalen Gegenstand in senkrechter Richtung vor einem Grunde betrachten, dessen Farbe mit der des Objectes scharf contrastirt, z. B. eine Haarnadel vor einem Bogen weissen Papier. Verzichtet man darauf, die kleinsten erkennbaren Theilchen der Nadel wegzunehmen, so erscheint sie unfehlbar doppelt, was beweist, dass die Augen sich nicht kreuzen.

IV. Richtige Accommodation bedingt Kreuzung der Sehachsen im betrachteten Object.

Versuch 3. Die auffallendste Erfahrung zu Gunsten des vorstehenden Satzes ist, dass sich die Richtung des einen geschlossenen Auges nach dem Accommodationszustande des andern sehenden richtet. Es seien in *Fig.* 21.

Tab. III. A B die Augen, x der betrachtete Gegenstand. Während man diesen fixirt, bringe man eine Karte 1 m vor das Auge B, und fixire mit dem freien Auge den Punkt y, welchen B nicht sehen kann. Entfernt man, nachdem dies geschehen ist, die Karte, so findet sich, dass das hinter der Karte müssige Auge seine Richtung nach y genommen, wo nun die Augenachsen sich kreuzen. Der Beweis ist, dass y einfach erscheint, da es doch, wenn die erste Augenstellung beibehalten worden wäre, im Doppelbilde bei x und n erscheinen müsste.

Um ganz sicher zu gehen traf ich die Einrichtung, dass ein Assistent mein Auge hinter der Karte beobachten konnte. Dieser gab die Bewegung des Auges B an, ohne meinen Fixationspunkt zu kennen, eine Vorsichtsmaassregel, die jede Täuschung unmöglich machte.

Fixirt aber das Auge A statt x den fernen Punkt o, so verändert wiederum das verdeckte Auge unwillkührlich seine Richtung; bei Entfernung der Karte erscheint o einfach, und hier liegt also der Kreuzungspunkt der Sehachsen.

V. Durch künstliche Mittel veränderte Accommodation des einen Auges verhindert die Kreuzung der Sehachsen im Object.

Ich fixirte durch ein für mein Auge zu scharfes Konkav-Glas ein 6′ entferntes Licht, bei verdecktem zweiten Auge. Wenn ich die Decke des letztern entfernte, so zeigte sich das Licht im Doppelbilde. Die Erscheinung des bewaffneten Auges lag mit diesem auf gleichnamiger Seite, und folglich hatten die Augenachsen sich vor dem Objecte gekreuzt.

Sowohl Porterfield als Müller scheinen anzunehmen, dass der causale Zusammenhang zwischen Achsenstellung und Accommodation erst an den natürlichen Gren-

zen der letztern aufhöre sich geltend zu machen. Beide wussten, dass Kreuzung der Sehachsen die Accommodation nicht erzwinge, wenn das Object dem Auge zu nah oder zu fern liegt, weil die Accommodationskraft eine beschränkte ist, und nur innerhalb gewisser Grenzen Vereinigung der einfallenden Lichtstrahlen zu Stande bringt. Indess bin ich durch zahlreiche Versuche genöthigt anzunehmen: dass auch innerhalb der Grenze des Accommodationsvermögens der causale Zusammenhang zwischen diesem und der Stellung der Augenachsen fehlen könne.

Versuch 4. Fixation eines Objectes mit Einem Auge regulirt die Stellung des zweiten nicht vollständig, sondern annäherungsweise. Betrachte ich eine Nadel in passender Sehweite mit Einem Auge, fixire sie so scharf als möglich und enthülle dann das zweite verdeckte Auge, so sehe ich die Nadel jedes Mal doppelt, obschon in sehr wenig getrennten Doppelbildern. Daher ist der unter No. 3 mitgetheilte Versuch nur annäherungsweise wahr und gelingt mir nur dann, wenn ich mein Auge auf grössere und entferntere Gegenstände richte.

Versuch 5. Man betrachte durch 2 Kartenlöcherchen eine Stecknadel in der Entfernung, wo man sie einfach sieht, mit Einem Auge und verdecke einstweilen das zweite Auge mit der hohlen Hand. Dann entferne man die Hand, ohne mit den Augen zu rücken, wobei sich ergiebt, dass im Gesichtsfelde zwei ziemlich weit getrennte Nadelbilder stehn. Das linke Bild gehört dem rechten Auge an und umgekehrt, woraus sich nach der Theorie der Doppelbilder ergiebt, dass die Augen, statt sich im Object zu kreuzen, wie die richtige Accommodation erwarten liesse, auf ein zu Fernes gerichtet sind. Nach

meinen Erfahrungen gilt dieser Versuch gleichmässig für Kurzsichtige und Weitsichtige.

Versuch 6. Es sei A C B *Tab. III. Fig.* 22 ein Faden, auf welchen die Augen x y der Länge nach hinsehen. Das Auge y blickt durch 2 Kartenlöcher r s, und sieht, wie in Young's Versuche (Kap. VIII. No. 10 D), den Faden im kreuzweis gelegten Doppelbilde bei a b, a′ b′. Wird im Anfange des Versuchs das Auge x geschlossen und erst nachmals geöffnet, so liegt ihm der Faden A B bei α β. Die Bilder α β und a b, a′ b′ kreuzen sich bei d, ein Beweis, dass in dem Punkte d die Augenachsen sich kreuzen. Nun erscheint aber der Faden A B dem Auge y in der Kreuzungsstelle doppelt, vermöge falscher Refraction, und einfach, in Folge passender Accommodation, bei c′, also diesseits der Kreuzungsstelle der Sehachsen.

Versuch 7. Wenn man einen horizontal aufgespannten Faden der Länge nach mit Einem Auge betrachtet, und die Stelle fixirt, welche in Folge passender Accommodation am dünnsten erscheint (vgl. Kap. XI. No. 3.), so wird man bei Oeffnung des zweiten, im Anfange des Versuchs geschlossenen, Auges finden, dass die Kreuzungsstelle der Sehachsen wiederum beträchtlich weiter abwärts liegt, als die Stelle des deutlichsten Sehens.

Versuch 8. Wir haben gesehen, dass in den eben beschriebenen Versuchen 6 und 7 die Augen auf ein zu Fernes gerichtet sind, oder zu stark divergiren. Comprimirt man aber die Augen, um die Kreuzungsstelle der Augenachsen mit dem Punkte des deutlichsten Sehens zu vereinigen, so flieht dieser Punkt jene Kreuzungsstelle und beide nähern sich dem Auge in gleichem Verhältnisse. Wird der Kreuzungspunkt der Sehachsen (*Tab. III. Fig.* 22) von d nach c zurückgezogen, so reicht der Punkt des deut-

lichsten Sehens ebenfalls rückwärts, und c′ erscheint nun doppelt. Hat aber der *locus visionis distinctae* die Stelle erreicht, über welche er sich dem Auge nicht mehr nähern kann, so wird er von der Kreuzungsstelle der Sehachsen eingeholt, und die vorher sich fliehenden Punkte verschmelzen.

Versuch 9. Eine gleiche Verschmelzung beider Punkte tritt dann ein, wenn man den Punkt des deutlichsten Sehens mit einem auffallenden Merkmale bezeichnet. Wenn man z. B. in Versuch 3 durch die Stelle des Fadens, welche am dünnsten erscheint, eine feine Nähnadel steckt, so flieht, bei vermehrter Convergenz der Augen, diese Stelle nicht vor der Kreuzungsstelle der Sehachsen, wie doch ausserdem, sondern beide vereinigen sich, indem, trotz der Veränderung der Augenrichtung, der Accommodationszustand des Auges sich gleich bleibt. Hieraus erklärt es sich, warum in dem Versuche Porterfield's (dieses Kap. I. und II.) die Stelle des deutlichsten Sehens und der Kreuzung der Augenachsen zusammenfallen, wenn man mit Nadeln experimentirt, die dem Auge einen hinreichenden Anhaltepunkt bieten.

Versuch 10. Als Beweis, dass zwischen Accommodation und Augenstellung ein directes Wechselverhältniss bestehe, hat Joh. Müller einen Versuch angegeben, den ich genöthigt bin als Beweis gegen diese Behauptung zu benutzen.

Wenn man mit einem Auge den Mond fixirt, behauptet Müller, und nachmals das zweite Auge öffnet, so sieht man den Mond doppelt. Der Grund soll sein, dass das Einrichtungsvermögen beschränkt, und also der Accommodationszustand des thätigen Auges auf ein ungleich näheres als der Mond, nämlich auf den Grenzpunkt seiner

Kraft überhaupt gestellt ist. Da nun die Einrichtung des Auges die Stellung der Sehachsen bestimme, so richte sich das geschlossne, müssige Auge nach diesem zu nahen Punkte, und bedinge beim Oeffnen ein Doppelbild aus falscher Augenstellung.

Indess habe ich die Beobachtung nicht bestätigt gefunden, und muss annehmen, dass beim Oeffnen des Anfangs geschlossnen Auges eine Verrückung der Augenrichtung statt gefunden habe. Ich wiederholte den Versuch an mir und andern auf folgende Weise: Ich sah durch eine Fensterscheibe in's Freie, wo sich auf einem entlegenen Hause eine Feueresse zur Fixation darbot. Das thätige Auge betrachtete anfangs ein Bläschen in der etwa 4′ entfernten Fensterscheibe, das zweite Auge wurde nicht geschlossen, sondern durch ein vorgeschobenes Bret am Sehen verhindert. Ein Assistent wurde so angestellt, dass er die Bewegung des Auges hinter dem Brete beobachten konnte. Nachdem dies geschehen, fixirte ich die Esse, welche mit dem Bläschen der Fensterscheibe in einer Richtungslinie stand. Der Assistent gab sogleich an, das Auge hinter dem Brete habe sich divergierend nach aussen gestellt, und nach Entfernung des Bretes erschien die Esse einfach.

Die Richtung des unthätigen Auges wird nicht durch den Stand der Accommodation bestimmt. Wäre dies der Fall, so müsste beim unbefangnen Oeffnen der Augen nur ein solcher Gegenstand einfach erscheinen, der in der natürlichen (nicht durch Kraftanstrengung vermittelten) Accommodationsweite steht. Aber gerade ein solcher Gegenstand wird doppelt gesehen. Das linke Doppelbild verschwindet bei Zuhalten des rechten Auges, d. h. die Augen sind auf ein zu Fernes gerichtet.

Ich experimentirte in Bezug auf diesen Gegenstand mit einer schwarzen Schnure, die ich senkrecht vor einer weissen Wand aufhing. Einfach sah ich die Schnure bei unbefangnem Oeffnen der Augen in einer Entfernung von ungefähr 6 Fuss, während meine bequemste Sehweite 8-9 Zoll beträgt. In einer Entfernung von 4 Fuss und weniger, oder 7′ und mehr, erschien mir die Schnur ohne Ausnahme doppelt, in ersterem Falle, wie das Verschwinden der Doppelbilder lehrte, wegen zu grosser Divergenz, in letzterem wegen ungehöriger Convergenz der Augen. [a])

Versuch 11. Ich stellte Scheiners Versuch so an, dass ich eine Stecknadel durch 2 Kartenlöcher in der äussersten Entfernung betrachtete, in welcher ich im Stande bin, sie ohne Doppelbild der Refraction zu sehen. Hatte ich mit dem rechten Auge durch die Kartenlöcher gesehn und öffnete dann das linke, so trat ein zweites Nadelbild auf, vom ersten beträchtlich entfernt nach rechts. Aus der Theorie der Doppelbilder erhellt, dass die Augen auf ein zu Fernes gerichtet waren. Wenn ich nun die Augen comprimirte, und beide Bilder näher an einander brachte, so theilte sich das linke Bild (dem Auge zugehörig, welches durch die Kartenlöcher sah) in zwei. Von diesen Refractions-Doppelbildern verschwand bei Verschluss eines Kartenlochs das gleichseitige, ein Beweis, dass nach

---

a) Versuche über diesen Gegenstand erfordern Uebung. Wer noch nicht in diesem Felde experimentirt hat, wird jeden Gegenstand einfach sehn, auf welchem er beim Oeffnen der Augen Rücksicht nimmt, indem bei dieser Berücksichtigung die Augen sich blitzschnell auf das Object einstellen. Man muss, um zu einem Resultate zu kommen, seine Aufmerksamkeit dem Gesichtsfelde als einem Ganzen zuwenden, und den Gegenstand, um dessen Verdoppelung es sich handelt, nur nebenbei betrachten.

erfolgter Convergenz die Lichtstrahlen von der Netzhaut vereinigt wurden (vgl. Kap. VIII. 10. C.).

Bis hieher ist an dem Versuche nur der Umstand bemerkenswerth, dass Verbesserung der Augenstellung, Verschlechterung der Accommodation herbeiführte, wovon jedoch schon andere Beispiele angegeben wurden (oben Vers. 8. 9.). Im übrigen wäre nicht auffallend, dass die Convergenz der Augen eine Vereinigung der Lichtstrahlen schon vor der Netzhaut, oder mit andern Worten, eine ungeeignete Verkürzung des convergirenden Lichtkegels im Auge, erzeugt hätte. Denn wirklich verkürzt nach allen bis jetzt mitgetheilten Erfahrungen Convergenz der Augen diesen Lichtkegel, während Divergenz ihn verlängert, vorausgesetzt nämlich, dass Veränderung der Augenstellung überhaupt die Brechung der Lichtstrahlen modifizirt, und nicht wie in Vers. 9 den Accommodationszustand des Auges ganz unverändert lässt.

Wenn ich nun den beschriebenen Versuch fortsetzte und die Doppelbilder der Augenstellung durch vermehrte Convergenz der Augen mehr und mehr näherte, so wurde das Doppelbild der Refraction immer auffälliger, im Augenblick aber, wo das Doppelbild der Augenstellung verschwand, verschwand auch das der Refraction. Da nun das Doppelbild der Refraction vorher durch einen zu kurzen Lichtkegel bedingt worden war, so konnte die Vereinigung der Lichtstrahlen auf der Netzhaut nur durch Verlängerung des Lichtkegels ermöglicht werden. Es hat also zunehmende Convergenz der Augen erst zunehmende Verkürzung des Lichtkegels, dann aber plötzliche Verlängerung desselben, zur Begleitung gehabt.[a])

a) Die Erklärung ist in Richtigkeit, wenn die Beobachtung sicher ist. Indess wäre möglich, dass im Kreuzungspunkte der Sehachsen das

Wenn ich endlich noch stärkere Convergenz der Augenachsen erzeugte, so dass ihr Kreuzungspunkt noch vor den leuchtenden Gegenstand fiel, so entstand abermals ein Doppelbild der Refraction. Bei Zuhalten des rechten Kartenlochs verschwand das rechte Bild, demnach lag der Accommodationsfehler an Kreuzung der Lichtstrahlen vor der Netzhaut oder zu kurzem Lichtkegel im Auge. Von neuem hatte Convergenz Verkürzung des Lichtkegels zu Stande gebracht.

Wir sehen in diesem Versuche auf Bewegung der Augen Veränderungen im Accommodationszustande erfolgen, aber die Beschaffenheit der letztern unterstützt die Ansicht nicht, dass durch Bewegung der Augenachsen eine den Umständen entsprechende Accommodation vermittelt werde.

Wiederholen wir die Frage nach dem Einfluss der Augenrichtung auf Accommodation, so ergeben sich als Resultate der vorstehenden Beobachtungen folgende:

Veränderung in der Stellung der Augenachsen.

1. Ist von Einfluss auf Accommodat. (S. oben I. II.)

2. Ist ohne Einfluss auf Accommodat. (Versuch 4. 6. 7.)

a) von günstigem bei Kreuzung. (Versuch 1. u. 2.)

b) von ungünstigem bei Kreuzung. (Versuch 8.)

Es scheint mir, dass die vorstehenden Versuche eben so gewiss beweisen, dass ein causales Verhältniss zwischen Augenrichtung und Accommodation wirklich be-

---

Object nur darum kein Doppelbild der Refraction zeige, weil das hellere Bild des freisehenden Auges an einen identischen Ort fällt und durch seinen stärkern Eindruck den des mehr beschatteten Auges unterdrückt.

stehe, als sie darthun, dass Kreuzung der Sehachsen nicht das unbedingte Erforderniss zur vollkommnen Accommodation ist. Es ist nicht diese Kreuzung, - welche den optischen Apparat des Auges so stellt, dass einfallende Lichtstrahlen genau auf der Netzhaut sich vereinigen, und die Accommodationsthätigkeit steht mit den Bewegungen des Auges nur in einem Causalverhältnisse zweiten Grades. Aber beide Thätigkeiten verfolgen so sehr gleiche Zwecke, dass sie sich endlich gewöhnen, gemeinschaftlich zu wirken. Die Augen müssen sich im betrachteten Object kreuzen, um es auf die Stellen der Netzhäute zu bringen, welche am lebhaftesten empfinden, aber sollte der beabsichtigte Zweck des deutlich Sehens vollständig erreicht werden, so mussten gleichzeitig die Augen sich passend einrichten. So oft wir einen Gegenstand deutlich sehen wollten (und dies geschieht mit Ausnahme des träumenden Schauens unaufhörlich), mussten wir gleichzeitig die passendste Augenstellung und die passendste Accommodation hervorrufen, daher ist eine Association beider Thätigkeiten eingetreten, auf die wir freiwillig nicht mehr verzichten können. Indess giebt es Verhältnisse, wo sich das Auge jener Association wieder begiebt. Nach welchen Gesetzen und aus welchem Grunde diese Association sich auflöst, ist eine Frage, deren Beantwortung noch nicht möglich ist.

Kapitel XVI.

Von dem mittelbaren Einfluss der Pupillenbewegung auf das Accommodationsvermögen.

Wir haben uns in dem Vorhergehenden gegen jeden directen Einfluss der Pupillenbewegung auf Accommodation des Auges erklärt, das heist wir leugneten, dass die Pupille dadurch das Auge für verschiedene Entfernungen einrichte, dass sie die Winkel, welche die äussersten Strahlen eines Lichtkegels mit der Augenachse machen, dem Bedürfniss entsprechend modifizire. Noch bleibt die Frage übrig, ob die Iris auf indirectem Wege wirke, und ob ihre Bewegungen andre nach sich ziehen, welche die Einrichtung des Auges verständlich machen.

Joh. Müller ist als Verfechter dieser Ansicht aufgetreten. Er zeigt einerseits die Abhängigkeit der Accommodation von der Stellung der Augenachsen (s. Kap. XV.), andrerseits den Einfluss dieser Stellung auf die Grösse der Pupille. Den letztern Punkt anlangend, so ist nicht zweifelhaft, dass Bewegungen des Auges Bewegungen der Pupille nach sich ziehen, und zwar in so weit entsprechende, als die Pupille sich zusehends verkleinert, jemehr man nach innen schielt, dagegen erweitert, wenn man den Augenachsen eine parallele Stellung giebt. Auch ich glaube, dass die willkührlichen Bewegungen der Pupille, von denen mehrere Schriftsteller sprechen, nur durch Veränderung der Achsenstellung hervorgebracht werden, wenigstens ist mir bei aller angewendeten Mühe und obschon ich das Gefühl, welches mit Veränderung der Pupille verbunden ist, recht wohl kenne, nicht möglich gewesen, Pupillen-

bewegungen zu lernen, die nicht mit Bewegung wenigstens eines Auges verbunden wären.

Die Abhängigkeit der Pupillenbewegung und des Accommodationszustandes von der Stellung der Augenachsen scheint eine Causalverbindung dieser verschiedenen Momente allerdings anzudeuten. Ueber den Grund des Wechselverhältnisses hat Müller sehr scharfsinnige Reflexionen angestellt. Er macht darauf aufmerksam, wie das 3te Nervenpaar einerseits eine Hauptrolle in der Bewegung der Augen spiele, andrer Seits sich mit dem *ganglion ciliare* verbinde, dessen Nerven die Bewegungen der Iris vermitteln. Die gleichzeitige Thätigkeit der innern Augenmuskeln und der Iris wären hiernach erklärlich, überdies hat Mayo durch Vivisectionen erwiesen, dass Reizung des *Nervus oculomotorius* mit Zusammenziehungen der Pupille verbunden ist. Ferner wird aufmerksam gemacht auf die sehr gleichartige Organisation der Iris und des Ciliarkörpers. Haben die Bewegungen der erstern Einfluss auf diesen, so könnten die Ciliarfortsätze die Linse nach vorn oder hinten ziehen, und hiermit das Auge adjustiren.

Mag man diese Hypothese wahrscheinlich finden oder nicht, so sind immer die Erfahrungen von Wichtigkeit, die ihr zu Grunde liegen. Auch Olbers und Treviranus haben nachgewiesen, dass die Grösse der Pupille zur Entfernung des betrachteten Objectes in einem gewissen Verhältniss stehe, wodurch die Annahme, dass die Bewegungen der Iris, wenigstens indirect, die Einrichtung des Auges betheiligen, einen neuen Stützpunkt gewinnt. Demungeachtet betrachte ich auch diese Annahme als unwahrscheinlich, indem zu viele Fälle vorliegen, wo Be-

wegungen der Iris ohne allen Einfluss auf die Einrichtung des Auges bleiben.

1) Thätig ist die Iris auch in Folge von Lichteinfluss. Die Unterschiede in der Weite der Pupille, bei mattem Licht und bei grellem, sind ausserordentlich bedeutend, aber die Entfernung des *locus visionis distinctae* ändert sich damit nicht. Die natürliche Sehweite meines Auges ist 9″, und wenn ich in dieser Entfernung ein scharf beleuchtetes Object betrachte, so beträgt die Weite meiner Pupille kaum 1‴. Schliesse ich jetzt das eine Auge, so wird bereits die Pupille des offenen viel grösser, halte ich aber vor letzteres noch eine Karte mit 2 sehr feinen Sehlöcherchen, so wächst, in Folge der starken Beschattung, der Durchmesser der Pupille abermals beträchtlich. Wenn 2 sehr kleine Sehlöcherchen die Distanz von 2‴ haben, und unmittelbar vor der Hornhaut angebracht werden, so eignen sie sich für mein Auge noch zur Anstellung des Scheinerschen Versuchs. Nun sehe ich aber durch 2 solche Löcherchen eine Nadel auf 9″ Entfernung einfach, und folglich unter eben so passender Accommodation als mit freiem Auge. Man berücksichtige, dass unter den angegebenen Umständen sich der Diameter der Pupille bis auf beinah 2‴ vergrössert haben muss, weil ausserdem die beiden durch die Löcherchen einfallenden Lichtstrahlen gar nicht zur Netzhaut gelangen könnten.

2) Ich erzeugte durch Extract der Belladonna eine solche Erweiterung meiner Pupille, dass von der Iris nur ein sehr schmales Streifchen übrig blieb und alle Beweglichkeit derselben aufhörte. Bestünde ein ursächliches Verhältniss zwischen den Bewegungen der Iris und der Accommodation des Auges, so wäre zu erwarten, dass die-

ses Extrem der Ausdehnung ein Extrem der Weitsichtigkeit hervorgerufen hätte, allein das gesunde Auge vermochte weiter zu sehen als das affizirte (S. Kap. XVII.).

3) Selbst solche Bewegungen der Pupille, welche in Folge veränderter Achsenstellung entstehen, scheinen mit dem Accommodationszustand des Auges nicht immer in Zusammenhang zu stehen. Wir haben im Kap. XV. verschiedene Fälle aufgezählt, wo der Accommodationszustand des Auges durch die Kreuzung der Augenachsen nicht regulirt wurde. Da aber in diesen Fällen die Bewegung der Pupille nach wie vor der Stellung der Augenachsen folgte, *) so ist anzunehmen, dass ein normales Verhältniss zwischen der Pupillenbewegung und der Accommodationsthätigkeit nicht Statt fand.

4) Wir haben Kap. XV. Versuch 9 einen Fall beschrieben, wo Veränderung der Augenstellung den Accommodationszustand des Auges nicht änderte. Gleichwohl kontrahirte sich in diesem Falle, mit vermehrter Convergenz der Augenachsen, die Pupille wie gewöhnlich, und es giebt also gewisse, vom Muskelspiel abhängige, Bewegungen der Pupille, welche auf die Einrichtung des Auges keinen Einfluss äussern.

Die Schwierigkeit, für die Bewegungen der Pupille einen andern Grund, als die Einrichtung des Auges aufzufinden, kann die Annahme einer unhaltbaren Hypothese nicht rechtfertigen. Annehmlicher scheint es mir, die Iris nur auf Moderirung des Lichts zu beziehn.

Richtig ist unstreitig, was Treviranus nachweist, dass die Vergrösserung und Verkleinerung der Pupille

---

*) Ueber die Art, wie die Bewegung der Pupille in Scheiners Versuch, auch hinter der Karte, beobachtet werden kann, s. Kap. VIII. Nr. 2.

ganz ungeeignet ist, die Masse des einfallenden Lichtes zur Entfernung des Objectes nur einigermassen in Proportion zu stellen. Davon kann um so weniger die Rede sein, als eine Pupille, auch bei unbegrenztem Vermögen sich zu erweitern, doch die Fähigkeit nicht haben könnte, die minder intensive Lichtwirkung entfernter Objecte der intensiveren naher Gegenstände gleichzustellen.

Eine Ausgleichung der Lichtwirkung war gar nicht Zweck der Natur, vielmehr galt es, den Nachtheilen zu schwacher und zu starker Beleuchtung vorzubeugen, und diesem Zwecke sind die Bewegungen der Pupille innerhalb gewisser Grenzen allerdings proportional.

Eine nicht ganz zu beseitigende Schwierigkeit liegt freilich in dem Umstande, dass Bewegung der Augen die Weite der Pupille auch in den Fällen modifizirt, wo der Lichteinfluss sich gleich bleibt, und die Schwierigkeit wächst, wenn der Durchmesser der Pupille mit der Entfernung des betrachteten Objectes in so genauer Proportion steht, als Treviranus neuerlich gefunden hat.

Indess halte ich diese Schwierigkeit für so gross nicht, dass sie den Zweck der Iris, das Licht zu moderiren, widerlegte. Man kann nämlich die Pupillenbewegungen mit jenen Thätigkeiten in Parallele stellen, die, im weitern Sinne des Worts, Instinkte heisen und dadurch sich auszeichnen, dass gewisse organische Processe zur Erreichung eines, in der That nur idealen, Zweckes eingeleitet werden. So sammelt sich im Munde des Hungrigen, beim blosen Gedanken ans Essen, Speichel, und Magensaft und Galle ergiessen sich in die ersten Wege auch wenn Stoffe genossen wurden, die aller Verdauung widerstreben. Aehnlicher Weise könnte ein Richten der Augen nach Innen mit Verengerung der Pupille verbunden sein, im Allge-

meinen aus zweckmässiger Vorsorge der Natur, das Auge vor zu heftigem Lichtreiz zu schützen, im einzelnen Falle aber aus Konsequenz, die den ursprünglichen Zweck verfehlte.

Kapitel XVII.

Ueber den Einfluss verschiedener Verhältnisse auf das Einrichtungsvermögen der Augen.

Bei unsrer Unbekanntschaft mit den organischen Mitteln, durch welche das Auge sich für ferne und nahe Gegenstände einrichtet, ist es von Wichtigkeit alle Umstände sorgfältig zu beachten, welche auf das Accommodationsvermögen von Einfluss sind. In der That steht es so schlimm um diesen Theil der Wissenschaft, dass wir noch Nachweisungen über das System bedürfen, innerhalb welches die Organe der Accommodationskraft zu suchen sind.

Bei Beobachtung der Umstände, welche die Weitsichtigkeit bestimmen, ist es nöthig, sich nach Mitteln umzusehen, sie zu schätzen. Ich kenne kein besseres, als das Auge an einer wohlgedruckten Schrift unter verschiedenen Entfernungen zu erproben. Dieses Mittel wird auch in dem mit Recht berühmten optischen Institut von Tauber seit Jahren als das zweckmässigste zur Bestimmung der Sehweite angewendet. Dagegen haben die verschiedenartigsten Optometer sich daselbst als unpractisch ausgewiesen.

Porterfield und Young benutzten die öfters erwähnten Versuche (s. Kap. XI.), eine Nadel oder einen Faden durch 2 kleine Löcherchen zu betrachten, zur Be-

stimmung der Accommodationskraft. Nach ihnen ist diese Kraft gleich der Distanz, innerhalb welcher das betrachtete Object einfach gesehen wird. Meine eignen sehr zahlreichen Beobachtungen mit Porterfield's Optometer sind einer solchen Annahme durchaus entgegen.

Ein sehr auffallendes Beispiel lieferte mir ein Mann von vortrefflichem Gesicht, der in Porterfield's Versuch die aufgesteckte Nadel durchaus nur zwischen 5 und 7 Zoll einfach sehen konnte. Der Versuch wurde 4mal wiederholt, sowohl mit dem rechten als linken Auge, und ergab regelmässig das gleiche Resultat. Dagegen vermochte ich selbst, mit meinem sehr kurzen Gesicht, die Nadel in einer Distanz von 3½ bis 15 Zoll einfach zu sehen; eine junge Dame, von vortrefflichem Gesicht, sah die Nadel einfach in der Entfernung von 14 bis 50 Zoll, und ein junger, ebenfalls weitsichtiger, Mann zwischen 5 und 22 Zoll. Offenbar behindert also das Optometer gewisse Augen in der freien Ausübung der Accommodationskraft. Selbst ich finde, trotz vieler Uebung, einige Schwierigkeit, mein Auge, hinter der durchlöcherten Karte, für ein Fernes zu accommodiren. Es gelingt mir erst nach verschiedenen Versuchen, auch nicht immer in gleichem Grade, selbst in Versuchen, die unmittelbar nach einander angestellt werden. Gewöhnlich sah ich die Nadel bis auf 14 Zoll einfach (bei Distanz der Löcher von 1½‴) zuweilen bis auf 16″, in seltenen Fällen bis 17″. Zuverlässiger fand ich das Optometer in der Nähe. Die grösste Nähe, unter welcher ich die Nadel einfach sehen kann, schwankt, bei gesundem Auge, nur zwischen 3½ und 4 Zoll.

Die hauptsächlichsten Umstände, welche auf das Einrichtungsvermögen der Augen Einfluss haben, sind folgende:

1) Lebensalter. Es scheint nach meinen Erfahrungen ein überaus seltener Fall, dass Kinder bis zum 10ten und 12ten Jahre an Kurzsichtigkeit leiden. Selbst Kinder kurzsichtiger Eltern erfreuen sich gewöhnlich eines vortrefflichen Gesichts, und erkennen Nahes und Fernes mit gleicher Schärfe. Hiermit übereinstimmend sind die Angaben von Holke, welcher in seiner schätzbaren Inauguralschrift Excerpte aus den reichhaltigen Tagebüchern mittheilte, die in dem hiesigen okulistischen Institute von Herrn M. Tauber gehalten werden *). Von 82 jungen Personen, im Alter von 8 — 16 Jahren, wurde durchschnittlich eine gewisse Schrift in der Distanz von 2 — 36″ lesbar gefunden, und ein zehnjähriges Kind erkannte sie sogar bis auf die Weite von 72″, während dieselbe Schrift von 7 kurzsichtigen Personen durchschnittlich nur innerhalb der Grenzen von 3″ — 9″ gelesen werden konnte. Berücksichtigt man nun, dass bei Kindern und jungen Leuten die Hornhaut am stärksten gewölbt erscheint, so kann man der sehr verbreiteten Annahme wenig Glauben schenken, dass die Kurzsichtigkeit gewöhnlich Folge einer zu stark gekrümmten Hornhaut sei.

Bei naturgemässem Leben bleibt das Vermögen, Fernes deutlich zu sehen, bis in's höchste Alter, dagegen verringert sich allmälig das Vermögen, die Augen für nahe Objecte einzurichten. In vielen Fällen mag dies nur einer Verringerung der Accommodationskraft zuzuschreiben sein; wenn aber Rudolphi **) behauptet, dass er, bei aller Aufmerksamkeit auf diesen Gegenstand, keinen Fall beobachtet habe, der auf zunehmende Fernsichtigkeit im Alter

*) Disquisitio de acie oculi dextri et sinistri. Lipsiae 1830.
**) Grundriss der Physiologie B. II. S. 214. Anm. 2.

hinweise, so ist dies höchst auffallend. Nichts ist gewöhnlicher, als dass Greise genöthigt sind, ein Buch, in welchem sie lesen wollen, weiter vom Auge zu halten als sie es früher thaten. Da wir nun, ohne besondere Veranlassung, ein Buch in der Entfernung vom Auge halten, welche ein zwangloses Sehen gestattet, so ist anzunehmen, dass die grössere Nähe, in welcher junge Leute zu lesen pflegen, durch eine stärkere Lichtbrechung veranlasst wird, und umgekehrt, dass verminderte Brechung des Lichtes im Auge der Greise eine fehlerhafte Fernsichtigkeit zur Folge hat.

2) Vernachlässigte Uebung der Accommodationskraft.

Fast alle Menschen, deren Augen ausschliesslich auf nahe Gegenstände gerichtet sind, Gelehrte, Mechaniker, Kupferstecher u. s. w. leiden an Kurzsichtigkeit. Dagegen haben Jäger, Hirten und Landleute gewöhnlich ein erstaunlich weites Gesicht, wozu sich nicht selten die Unfähigkeit gesellt, sehr kleine Gegenstände in der Nähe zu unterscheiden.

Wir entlehnen aus dem angeführten Schriftchen von Holke folgende Notizen über die verhältnissmässige Anzahl der Kurzsichtigen zu den Weitsichtigen, die in Tauber's Institut unter 14,075 Augenkranken aus allen Ständen vorkamen.

	Gelehrte 16 — 25 Jahr alt.	Gelehrte 25 — 60 Jahr alt.	Landleute und Jäger, von 16 — 60 Jahren.	Gelehrte von 60 — 90 Jahren.
Myopen	1,545	238	66	45
Presbyopen	75	7	441	63

Benutzung von Brillen vermehrt sehr häufig den Augenfehler, gegen welchen sie gebraucht werden, und vielleicht ohne Ausnahme, wenn die Gläser zu scharf sind. Nach anhaltenden mikroskopischen Beobachtungen habe ich ein deutliches Gefühl von Schwäche im Auge und sehe ferne Gegenstände noch undeutlicher als gewöhnlich.

Erscheinungen der Art beweisen auf das schlagendste, dass die Deutlichkeit entfernter sowohl als naher Objecte nicht durch den Bau des Auges allein, sondern durch eine steigerungsfähige Kraft vermittelt wird.

3) Krankheiten, die nicht örtlich das Auge betreffen, scheinen keinen grossen Einfluss auf die Accommodationskraft des Auges auszuüben. Wenigstens haben Aerzte, welche die sorgfältigsten Krankheitsbilder aufgezeichnet haben, unter den Symptomen etwas hierher bezügliches nicht angemerkt. Auch sind mir selbst Klagen über Kurzsichtigkeit bei Reconvalescenten aller Art nicht vorgekommen. Ich kenne Personen von auffallender Nervenschwäche, andre von äusserst schwachen Muskeln, die vortrefflich sehen. Eine Dame, deren Körper durch 18jährige Leiden gänzlich zerrüttet ist, sieht nahe und ferne Objecte mit grösster Schärfe.

Nur durch Selbstbefleckung entsteht eine Schwäche, die nach übereinstimmendem Zeugniss der Aerzte Kurzsichtigkeit zur Folge hat.

4) Narkotische Arzneien. Verschiedene Beobachter haben die Wirkung der Belladonna auf das Auge als Weitsichtigkeit dargestellt. Purkinje war nach seinen Versuchen genöthigt, dieser Ansicht zu widersprechen und meine Beobachtungen stimmen mit den seinigen vollkommen überein.

Was die Sehweite meiner Augen anlangt, so lese ich ein Buch, mit Bourgois-Antiqua gedruckt, am bequemsten in der Entferung von 9″. Die Stelle, wo bei unbefangener Betrachtung eines Fadens durch 2 Kartenlöcher (Young's Optometer) das Doppelbild sich kreuzt, liegt 9″ vom Auge. Mit einer Brille + 24 Zoll *Focus* lese ich die angegebene Druckschrift am bequemsten in der Sehweite von 5½ Zoll, mit einer Brille — 24 am bequemsten unter 14″ Entfernung.

Der Vergleich der Sehweiten des gesunden und durch Belladonna affizirten Auges findet sich in folgender Tabelle:

Sehweite

abgeschätzt nach der Fähigkeit, Bourgois-Antiqua so nah und so fern als möglich zu lesen.

Bedingung des Sehens.	Gesundes linkes Auge.	Mit Bellad. affizirtes rechtes Auge.	Breite, innerhalb welcher gelesen werden kann.	
			gesundes Auge.	krankes Auge.
ohne Brille	2″ — 27″	3¾″ — 22″	25″	18¼″
Brille — 24	2″ — 42″	5½″ — 32½″	40″	27″
Brille + 24	1″ — 14″	2½″ — 12½″	13″	10″
bequemstes Sehen ohne Brille	9″	12″		

Die Wirkung der Belladonna auf das Auge besteht hiernach in folgendem:

1) Beschränkung der Fähigkeit, in der Nähe deutlich zu sehen.

2) Beschränkung der Fähigkeit, in der Ferne deutlich zu sehen.

3) Steigerung der passiven Sehweite, d. h. derjenigen, in welcher ohne vorgängige Anstrengung am deutlichsten gesehen wird.

Ganz in Uebereinstimmung mit dem Behaupteten war es unstreitig, dass ich, um ohne Anstrengung mit beiden Augen gleichzeitig zu lesen, das Buch in der bequemsten Entfernung für das affizirte Auge (12″) halten musste. Bei dieser Sehweite sah ich mit beiden Augen deutlicher, als mit dem rechten allein. Brachte ich das Buch in die bequemste Entfernung für das gesunde Auge (9″) so konnte ich deutlich nur dann sehen, wenn ich das rechte Auge schloss. Das gesunde Auge konnte nämlich der Accommodation des kranken folgen, nicht dieses der des andern *).

In einem nicht recht begreiflichen Widerspruch mit den angeführten Beobachtungen stand eine Reihe von Versuchen mit Porterfield's Optometer, welche auf wirkliche Weitsichtigkeit hinzuweisen scheinen.

*) Diese Erscheinung kann als einer der vielen Beweise angesehen werden, dass ein besonderes Einrichtungsvermögen des Auges wirklich vorhanden ist.

Sehweite,

geschätzt nach der Fähigkeit, eine Stecknadel durch zwei Kartenlöcher von 1‴ Distanz einfach zu sehen.

Nr. der Versuche, nach der Zeitfolge, in welcher sie angestellt wurden.	Gesundes Auge.	Mit Belladonna affizirtes Auge.	Breite, innerhalb welcher die Nadel einfach gesehen wird.	
			gesundes Auge.	affizirtes Auge.
1) Angehender Narkotismus.	3½″ — 14″	5½″ — 13″	10½″	7½″
2) Starker Narkotismus.	3½″ — 10″	5″ — 15″	6½″	10″
3) Gänzlich unbewegliche Pupille.	2½″ — 10″	7½″ — 15″	6½″	7½
4) Wie vorher, aber später,	3½″ — 10″	11″ — 17″	6½″	6″
5) Am 2. Tage.	4″ — 10″	9½″ — 13″	6″	3½″
6) Später, die Nadel gegen helles Licht betrachtet.	4″ — 9″	12″ — 16″	5″	4″
7) Bequemstes Einfachsehen.	9″	15″		

Nach meiner Meinung bestätigen diese Versuche nur die Unzuverlässigkeit des Optometers, als Kraftmesser, und können Weitsichtigkeit, als Folge des Narkotismus, durchaus nicht erweisen. Denn unleugbar sind die obenbemerkten Sehversuche mit freiem Auge zuverlässiger, als die so eben mitgetheilten, die auch mit folgenden Beobachtungen in Widerspruch stehen.

a) Das gesunde Auge erkannte bei unbehindertem Sehen Gegenstände von grosser Entfernung immer deutlicher, als das mit Belladonna affizirte, und zwar nicht blos bei hellem, sondern auch bei Dämmerlichte. So konnte ich, zur Zeit des 3ten Versuchs der vorstehenden Tabelle, auf 150 Schritt Entfernung und bei gedämpftem Lichte die Ziegelreihen eines Daches mit dem gesunden Auge zählen, mit dem andern nicht.

b) Auch während der Zeit des heftigsten Narkotismus sah ich durch meine Brille — 24 schon bei 4′ Entfernung die Gegenstände deutlicher. Auch konnte ich nur mit Hülfe dieser Brille über 22″ weit lesen, während das unbewaffnete gesunde Auge dieselbe Schrift bis 27″ weit zu lesen vermochte.

c) Die Unzuverlässigkeit der in vorstehender Tab. verzeichneten Kraftmessungen ergab sich in diesem besondern Falle daraus, dass die Distanz der Doppelbilder einer durch 2 Kartenlöcher betrachteten Nadel, sich sehr merklich änderte, oder auch dass merkliche Duplicität sich auf Einheit reduzirte und umgekehrt, je nachdem ich die durchlöcherte Karte etwas mehr nach rechts oder links rückte, aufhob oder senkte und hierdurch bewerkstelligte, dass das Object entweder mehr am Rande oder mehr in der Mitte der lichten Stelle (Kap. VIII. Nr. 1.) schwebte, in welcher es betrachtet wurde. Um nun gleiche Resultate zu bekommen, war ich bei den Messungen genöthigt, die Objecte möglichst in die Mitte der erwähnten lichten Stelle zu fassen, wobei Beobachtungsfehler sich einschleichen konnten.

5) W e i n g e n u s s i m U e b e r m a a s s beeinträchtigt das Einrichtungsvermögen. Ich habe dies zweimal an mir

selbst erfahren, wo ich geflissentlich so viel getrunken hatte, dass die ersten Vorboten des Rausches zum Vorschein kamen. Ich versuchte meine Augen am Porterfield'schen Optometer, welches Instrument, obschon im Allgemeinen nicht zuverlässig, doch hier sich brauchen liess, da sein Verhältniss zu meinem Auge, nach unzähligen Versuchen, mir so weit bekannt ist, dass ich die Grenzen der Unsicherheit angeben kann. Bei vollem Wohlsein sehe ich durch Kartenlöcher von 1''' Distanz eine Nadel in der Entfernung von 4 bis 12'' immer einfach, unter günstigen Umständen aber, und wenn ich das Auge sehr anstrenge, vermag ich die Nadel bis in die Nähe von 3½ und bis in die Entfernung von 16'' einfach zu sehen. Nachdem ich mich aber dem Einfluss des Weines ausgesetzt hatte, war die Breite des Einfachsehens nur von 7½ bis 10½ Zoll Entfernung, also um ein ansehnliches kleiner, als sonst unter den ungünstigsten Verhältnissen.

In einem zweiten Versuche ähnlicher Art war die Breite, in welcher einfach gesehen werden konnte, zwischen 4½'' und 9½''. In dem letzten Versuche nahm ich Rücksicht auf die Beweglichkeit der Pupille, welche normal erschien.

6) Mangel der Krystallinse, nach Operation des Staars, beschränkt die Accommodationskraft. Home beobachtete einen operirten Matrosen, welchen er sowohl mit dem gesunden als dem kranken Auge durch konvexe Brillengläser lesen, und die Grenzen des deutlichen Sehens bestimmen liess. Er glaubte aus diesen Beobachtungen folgern zu müssen, dass die Accommodationskraft bei Mangel der Linse vollkommen ungeschwächt fortbestände, indess hat Klügel nachgewiesen, dass jener

Folgerung physikalische Missverständnisse zum Grunde liegen *).

Dass die Operation des Staars das Einrichtungsvermögen schwäche, kann kaum in Frage kommen, da die Operirten für verschiedene Entfernung Gläser von verschiedener Schärfe bedürfen. Dies ist bei kurzsichtigen oder weitsichtigen gesunden Augen nicht der Fall, eine passende Brille passt hier für alle Entfernungen, und solche Augen bedürfen also nur einer Korrektion der Licht-Brechung, nicht, wie nach operirtem Staar, einer Unterstützung der Accommodation.

Auch sind die Grenzen, innerhalb welcher Operirte lesen können, im Verhältniss zu dem, was gesunde Augen leisten, immer sehr klein. Bei 8 Beobachtungen, welche Holke (a. a. O. Supplement) auf die Weise anstellte, dass er Operirte mit Hülfe einer möglichst passenden Brille, Schrift wie die hier benutzte unter verschiedenen Entfernungen lesen liess, fand sich, dass im glücklichsten Falle, in dem Zwischenraume von 3 bis 15 Zoll, von dem schwächsten Auge aber nur zwischen $1\frac{1}{4}$ und $6\frac{2}{7}$ Zoll gelesen werden konnte. Eine so geringe Breite des deutlichen Sehens kann nicht nur mit dem nicht verglichen werden, was ein wohl organisirtes Auge leistet, sondern steht nicht einmal im Verhältniss mit der Accommodationskraft eines kurzsichtigen, aber übrigens gesunden Auges, wenn es durch eine passende Brille unterstützt wird.

Dass Wegnahme der Linse das Accommodationsvermögen des Auges beträchtlich schwäche, scheint mir ausser allem Zweifel zu sein, schwieriger ist die Beantwort-

---

*) Reil's Archiv B. II. S. 25 giebt einen Auszug der Arbeit von Home, nebst Anmerkungen von Klügel.

ung der Frage: ob nach Wegfall der Linse überhaupt noch ein Vermögen der Art fortbestehe.

Vor allen ist zu bemerken, dass Leseversuche in verschiedenen Weiten, wie die von Holke angestellten, nicht geeignet sind die Sache zu entscheiden. Es handelt sich nicht darum, zu erfahren, ob ein operirtes Auge im Stande sei, Gegenstände in verschiedenen Entfernungen zu erkennen, denn erkannt werden auch Gegenstände, auf welche das Auge nicht accommodirt ist, sondern die Frage kann nur die sein, ob ein solches Auge das Vermögen besitze, Gegenstände unter verschiedenen Entfernungen ohne Zerstreuungskreise und also gleich deutlich zu sehen.

Die angeführten Versuche lassen diese Frage ganz unerörtert, und würden, auch wenn sie den zweifelhaften Punkt berücksichtigt hätten, nichts entschieden haben, weil Urtheile über den Grad der Deutlichkeit nicht zuverlässig sein können.

Porterfield schlug vor, operirte Staarblinde mit Hülfe seines Optometers zu untersuchen und ausfindig zu machen, ob solche Personen im Stande wären, eine Nadel durch 2 Kartenlöcher in verschiedenen Entfernungen einfach zu sehen. Young (a. a. O. pag. 65) hat diesen Versuch angestellt. Er liess die Kranken durch 2 Löcherchen einen Faden betrachten, der nun im gekreuzten Doppelbilde erschien, und veranlasste sie, durch Fixation bald eines nähern bald eines fernen Punktes, die Kreuzungsstelle der Fäden zu verrücken. Allein bei 5 verschiedenen Personen blieb die Kreuzungsstelle unwandelbar an derselben Stelle, und durch keine Anstrengung gelang es den Operirten, die doppelt erscheinenden Stellen des Fadens einfach wahrzunehmen. Young schliesst

hieraus, dass bei Mangel der Linse nur Lichtstrahlen einer gegebenen bestimmten Entfernung auf der Netzhaut in einem Punkte vereinigt werden können.

Ich habe 3 Mal diesen Versuch angestellt, mit verschiedenem Erfolge. Ein bejahrter Mann, der 4 Wochen früher glücklich operirt worden war, wurde aufgefordert den Optometer zu versuchen, allein er war nicht im Stande die Erscheinung zu erkennen.

Zu einer zweiten Untersuchung erbot sich Herr S. aus D., welchem, vor langen Jahren, der Staar durch Keratonyxe operirt worden war. Das Auge gewährte einen sonderbaren Anblick. Ohne genauere Prüfung konnte man glauben, der Staar sei noch vorhanden, denn hinter der Pupille lag ein grauer undurchsichtiger Körper, wahrscheinlich die zurückgebliebene Linsenkapsel, in deren Mitte sich nur ein kleines Loch, von etwa ½''' Durchmesser fand, welches als Sehe diente. Die eigentliche Pupille war gross und reagirte auf Lichtreiz ziemlich lebhaft. Ich benutzte nun den Optometer von Porterfield, dessen Sehlöcherchen nur etwa ½''' Distanz haben durften, weil die ganz unbewegliche kleine Oeffnung des grauen Körpers im Auge einen sehr schmalen Lichtkegel erforderte. Der Kranke gab nun an, dass er die Nadel in der Distanz von 7 — 12'' einfach sehe, und wiederholte diese Angabe in mehreren Versuchen. In einem Versuch gab er das Doppeltwerden der Nadel nicht eher an, als bis ich diese von 12'' Entfernung auf 5'' zurückgesteckt hatte. Diese Beobachtungen würden für eine nicht unbeträchtliche Accommodationskraft sprechen, wenn sie sicher wären, allein ihre Zuverlässigkeit ist zweifelhaft. Ein Uebelstand war es schon, dass die Löcherchen des Optometers so nah aneinander angebracht werden mussten, da nun die Doppel-

bilder nur wenig auseinander treten konnten. Bei so nah aneinander stehenden Löchern ist es unvermeidlich, dass die Doppelbilder bei derselben Entfernung des Objects noch in einander greifen, oder doch mit ihren innern Rändern sich berühren, in welcher, bei grösserer Distanz der Sehlöcherchen, eine vollkommne Trennung Statt gefunden haben würde. Ein schwaches Auge kann Doppelbilder, welche sich berühren, oder gar in einander greifen, für eine einfache Erscheinung nehmen, und ein schwaches Auge hatte der Operirte wirklich, denn er erkannte die Nadel überhaupt nur mit Mühe durch die Kartenlöcher. Diese Umstände berechtigen einigermassen zu der Annahme, dass die Grenzen, innerhalb welcher das operirte Auge einfach sehen konnte, beträchtlich geringer waren, als die angegebenen Beobachtungen anzudeuten scheinen.

Der 3te Versuch wurde in hiesiger Heilanstalt für Augenkranke, in Gegenwart des Hrn. Dr. Ritterich mit einem Manne angestellt, welcher 2 Jahre früher operirt worden war. Der Kranke vermochte die Nadel bequem zu sehen und gab auf alle Fragen genügende Rechenschaft. Die Breite des deutlichsten Sehens war bei ihm 1″, innerhalb welcher Distanz die Nadel verschoben werden konnte, ohne in Doppelbilder zu zerfallen.

Der letzte Versuch spricht ziemlich bestimmt für die Annahme, dass ein geringer Grad von Accommodationskraft auch nach Entfernung der Linse noch fortbestehe.

Es wäre sehr wünschenswerth, dass Augenärzte diese Beobachtungen wiederholten, die für die Lehre vom Einrichtungsvermögen von Wichtigkeit sind.

Kapitel XVIII.

Einige Bemerkungen über die Mittel, von welchen das Accommodationsvermögen abgeleitet wird.

Die Hypothesen über den Grund des Einrichtungsvermögens sind von Treviranus *) mit solcher Vollständigkeit zusammengestellt und mit solcher Gründlichkeit geprüft worden, dass ich mich hier auf einzelne Bemerkungen beschränke, die noch neben den Untersuchungen der Biologie Berücksichtigung verdienen dürften.

Eine der gangbarsten Vorstellungen ist die, dass die Augenmuskeln die Fähigkeit besässen, die Dimension der Augenachse zu ändern, indem sie entweder durch Druck das Auge verlängerten, oder durch Zurückziehen der Hornhaut, gegen die fixirte hintere Augenwand, verkürzten. Ganz unvereinbar mit diesen Hypothesen ist der von mir beschriebene Mechanismus der Augenbewegung. Es hat sich erwiesen, dass jede Bewegung des Auges in einem Drehen desselben um ein unbewegliches Zentrum bestehe. Ein solches Drehen lässt voraussetzen, dass die Kontraktion eines Augenmuskels von Erschlaffung des jedesmaligen *opponens* begleitet werde. Kontrahirten sich nämlich gegenüberstehende Muskeln gleichzeitig, so wäre eine Bewegung des Augapfels in der Richtung der Diagonale der wirkenden Kräfte nach mechanischen Gesetzen unvermeidlich. Eine solche Bewegung wäre mit Drehung unvereinbar, andrerseits aber versteht es sich von selbst, dass ohne gleichzeitige Thätigkeit der gegenüberstehenden Muskeln weder an Druck zu denken ist, der das Auge

*) Biologie Bd. VI. S. 512. u. folg.

verlängere, noch an ein Zurückziehen der Hornhaut mit dem Erfolge von Verkürzung.

Young glaubt durch Berechnung gefunden zu haben, dass ein Auge von beträchtlicher Accommodationskraft sich um $\frac{1}{6}$ der Dimension der Augenachse verändern müsste, wenn auf diesem Wege die Einrichtung für beide Grenzpunkte des deutlichsten Sehens vermittelt werden sollte. Ist diese Berechnung richtig, so müsste eine Veränderung der Art, wenn sie Statt fände, an meinem Gesichtswinkelmesser bemerklich werden. Es findet sich nämlich im Abstande des Drehpunktes vom vordersten Punkte der Hornhaut kein Unterschied, mag ich die aufgestellten Haarvisire unmittelbar fixiren, oder den entfernten Hintergrund, vor welchem sie sich befinden. Ist die vordere grösste Hälfte der Sehachse, die hier gemessen wird, unveränderlich, so ist es die hintere kleinere unfehlbar ebenfalls, daher denn Veränderungen in der Dimension der Augenachse wenigstens in so weit unannehmbar scheinen, als der Gesichtswinkelmesser, bei Bestimmung der Distanz des Drehpunktes vom Achsenpunkte der Hornhaut, genau ist. Ich glaube nicht, dass der Irrthum bei jener Bestimmung 0,05″ übersteigen könne, und da in meinem Auge der Drehpunkt 0,472″ hinter dem Achsenpuncte der Hornhaut liegt, so würden die Veränderungen der Augenachse höchstens 9/100 ihrer ganzen Länge betragen können.

Es entgeht mir nicht, dass die letztern Beobachtungen manchem Zweifel Raum lassen, und die Hauptsache bleibt immer, dass die Augenmuskeln bei dem eigenthümlichen Mechanismus der Bewegung, zu Formveränderungen des Augapfels nicht geeignet sind, und dass neben den Augenmuskeln keine Organe existiren, welche die Gestalt der harten Häute modifiziren könnten. Diesen Betrachtungen

gegenüber hat der ganz einzelne, von **Olbers** beschriebene Fall, wo Mangel und Missbildung einiger Augenmuskeln mit dem Unvermögen, das Auge auf verschiedene Fernen einzurichten, verbunden war, nur wenig Gewicht. Sehr nah liegt die Annahme, dass so auffallende Missbildungen der äussern Theile mit pathologischen Verhältnissen im Innern verbunden waren.

Unrichtig ist jede Theorie der Accommodation, welche den Umstand unberücksichtigt lässt, dass bei der Einrichtung des Auges der Kreuzungspunkt der Sehstrahlen unveränderlich seine Lage behält.

Es seien (*Tab. III. Fig.* 26) a b c d Haarvisiere, so aufgestellt, dass die beiden entfernteren a b durch die näheren c d für das betrachtete Auge verdeckt werden. Die sich deckenden Visiere decken sich nun unter allen Umständen, so wohl wenn man die nahe gelegenen Visiere c d fixirt, als wenn man sein Auge für das entfernteste einrichtet (z. B. auf den Himmel, vor dessen Hintergrunde man die Visiere betrachtet) *). Die gleichbleibende Deckung beweist, dass die Visiere c und a unveränderlich in dem Sehstrahle f a, die Visiere d b aber in dem Sehstrahle e b liegen bleiben, welche Sehstrahlen sich in dem unbeweglichen Drehpunkt x kreuzen. Dass der Drehpunkt sich nicht verrückt haben kann, ergiebt sich aus folgendem:

Gesetzt, der Drehpunkt wäre von x nach y gewichen, welcher Punkt weiter nach vorn in der Augenachse liegt, so würde zwar noch immer c und a nicht, aber b und d

*) Da die Visiere bei Accommodation des Auges für ein sehr Fernes Zerstreuungskreise bilden, welche das Urtheil über die Deckung unsicher machen, so muss man durch ein kleines Loch, am besten durch Staniol gestochen, sehen, bei welcher Vorsichtsmaassregel die Haarvisiere hinreichend scharf und deutlich erscheinen.

sich decken. Es würde nämlich nach oben (Kap. IV.) ausgeführten Gesetzen das Object d sein Bild bei d′, dagegen b sein Bild bei b′ formiren und so müssten die Bilder, die vorher sich deckten, auseinander treten.

Eine Frage, die hier nothwendig berücksichtigt werden muss, ist die, ob Veränderungen, in der Lage des Drehpunktes, ein so beträchtliches Auseinandertreten der sich deckenden Punkte erzeugen, dass der Sinn sie empfinden müsse. In dem vorerwähnten Versuche war die Entfernung der entfernten Visiere *(Fig. 26)* a b vom Drehpunkte x = 24″; die Distanz der Visiere a b unter sich = 1,2″; die Entfernung der nahen Visiere c d vom Drehpunkte x = 4″; die Distanz der Visiere c d unter sich = 0,2″. Gesetzt nun, dass der Drehpunkt x sich um 0,04″ nach vorn bis y verrückte, so würden folgende Verhältnisse eintreten: Es wäre:

c y = d y = (4″ — 0,04″) 3,96″
d′ y = f y = (0,353″ + 0,04″) 0,393″
Distanz c d = 0,2″

Distanz der Netzhautbilder d′ f = 0,01985″ *)

Ferner: a y = b y = (24″ — 0,04″) 23,96″
b′ y = f y = (0,353″ + 0,04″) 0,393″
Distanz a b = 1,2″

Distanz der Netzhautbilder b′ f = 0,01968″

Distanz der Netzhautbilder b′ d′ = 0,00017″

Die letztere Distanz bezeichnet den Zwischenraum, welcher die ursprünglich sich deckenden Bilder von b und

*) Die Berechnung ist nach den Principien angestellt, welche S. 61 u. folg. entwickelt wurden.

d getrennt haben müsste, wenn der Drehpunkt nur um $\frac{1}{25}$ Zoll nach vorn getreten wäre. Eine solche Distanz aber ist so gross, als das Auge bedarf, um die Duplicität der Erscheinung wahrzunehmen (S. Anhang).

Ich habe den Versuch unter Umständen angestellt, wo die Distanz d′ b′ noch grösser hätte ausfallen müssen, als in vorstehendem Falle, ohne eine Veränderung in der Deckung der Visiere wahrnehmen zu können. Ich glaube demnach als Gesetz aufstellen zu dürfen: dass bei der Einrichtung des Auges für verschiedene Sehweiten, der Drehpunkt seine Stellung beibehalte.

An diesem Gesetze scheitert, wenn ich nicht irre, eine der beliebtesten Hypothesen, die zur Erklärung des Accommodationsvermögens zu Hülfe genommen wird, die Hypothese nämlich, dass die Krystalllinse ihre Entfernung von der Netzhaut, dem Bedürfniss entsprechend, verändere.

Wenn man zwischen ein leuchtendes Object und einen Bogen Papier eine Glaslinse so anbringt, dass sich das Bild des Objectes auf dem Papiere darstellt, so liegen die einzelnen Theile des Objectes und die ihnen entsprechenden Bildchen in geraden Linien, welche das Centrum der Linse schneiden. Im Auge können zwar die Lichtstrahlen nicht ungebrochen bis zur Netzhaut gelangen, aber welche Kurven sie auch beschreiben mögen, so wird doch immer die Krystallinse den Gang des Lichtes nach denselben Gesetzen bestimmen, als dies eine Glaslinse ausserhalb des Auges thut. Wenn wir daher den Einfluss untersuchen wollen, welchen Dislokation der Linse auf das Sehen haben muss, so scheint es gestattet, den Fall mit Bezugnahme auf die Gesetze der Glaslinsen zu untersuchen.

Es seien in *Fig.* 27 *Tab. III.* a c zwei Gegenstände in der Achse der Linse K gelegen, so fällt das Licht des

nähern Gegenstandes durch das Centrum y der Linse auf die Netzhaut r s t u und formirt sein Bild im Achsenpunkte u, während c sich gar nicht darstellt, weil sein Richtungsstrahl von a aufgefangen wird. Liegen ferner b und d in einer geraden Linie, welche ebenfalls das Centrum der Linse schneidet, so formirt b sein Bild bei t und interzipirt den Richtungsstrahl von d. In der Erscheinung würden die Objecte a c einerseits und b d andrerseits sich decken. Würde nun die Krystallinse, in Folge von Accommodationsbewegungen, nach vorn geschoben, so würde der Achsenstrahl von b durch das Linsencentrum x nach r, der von d nach s fallen. Demnach würde die vordem bestandene Deckung der Objecte aufhören, eine Erscheinung, die, wie wir gesehn haben, nicht vorkommt.

Da nach vorausgeschickten Untersuchungen das Auge ein Accommodationsvermögen factisch besitzt, und da die Erfahrungen an operirten Staarblinden eine beträchtliche Verminderung dieses Vermögens nachweisen (also auf die Linse, als das Mittel jener Kraft, unverkennbar hindeuten), so bleibt, bei der Unwahrscheinlichkeit aller andern Hypothesen, kaum noch eine andere Annahme übrig, als dass die Krystalllinse ihre Gestalt verändere.

Hunter, Young und Purkinje haben Beobachtungen zu Gunsten dieser Annahme zusammengestellt. Letzterer führt eine Beobachtung an, die nach seinem Dafürhalten eine vermehrte Wölbung, sei es der Hornhaut oder Linse, bestimmt nachweist *). Er sagt: Wenn man einen Gegenstand (am besten Gedrucktes) in der Sehachse in der Distanz des deutlichen Sehens dem Auge immerfort nähert, ohne die Deutlichkeit aufzugeben, bis das angestrengte Nahesehen schmerzhaft wird, so wird man be-

*) a. a. O. S. 150.

merken, dass die Buchstaben allmählig kleiner werden, so wie man aber die Schrift vom Auge auf die mittlere Distanz des deutlichen Sehens entfernt, werden die Buchstaben sich vergrössern, und darüber hinaus bei noch grösserer Entfernung sich perspectivisch wieder verkleinern.

Die angegebene Erscheinung durch zunehmende Wölbung der brechenden Medien zu erklären, hat aber das Missliche, dass man eine gleichzeitige Veränderung der Brennweite mit in's Spiel ziehen müsste, wenn die Grösse des Bildes hinter der Linse sich ändern sollte.

Die Grösse dieses Bildes hängt nämlich von 2 Momenten ab: 1) von der Grösse des Winkels, unter welchem die Achsenstrahlen der Grenzpunkte des leuchtenden Objects sich kreuzen; 2) von der Distanz dieses Kreuzungspunktes von derjenigen Fläche, welche das Bild aufnimmt. Das erste Moment anlangend, so hat die Wölbung der Linse nach optischen Gesetzen keinen wahrnehmbaren Einfluss auf die Grösse des Winkels, unter welchem die Achsenstrahlen der Lichtkegel sich schneiden, indem der Kreuzungspunkt (bei Gläsern das Centrum der Linse) unverändert derselbe bleibt. Sollte nun nach Purkinje's Erfahrung ein näherer Gegenstand statt des zu erwartenden grösseren Bildes ein kleineres darstellen, so müsste sich die Distanz zwischen Kreuzungspunkt und der das Bild aufnehmenden Fläche (im Auge Distanz zwischen Drehpunkt und Netzhaut) auf das auffallendste verkürzt haben, welcher Annahme, wie gezeigt worden ist, erhebliche Gründe entgegenstehen.

Wenn ich Gedrucktes in passender Sehweite vor die Augen halte, dann die Schrift näher und näher bringe, indem ich mit Anstrengung immer so deutlich als möglich zu sehen suche, so scheint mir die Schrift nicht kleiner

zu werden, wohl aber ihre Grösse unverändert bei zu behalten. Dieses scheinbare Gleichbleiben der Grösse beweist aber, nach meiner Meinung, nicht eine gleichbleibende Grösse der Netzhautbilder, welche nur durch Accommodations-Veränderungen, und zwar durch Verkürzung der Distanz zwischen Drehpunkt und Netzhaut erklärt werden könnte, sondern sie beruht auf Täuschung.

Den Beweis liefert der Umstand, dass Objecte, welche bereits ausserhalb der Grenzen des Accommodationsvermögens liegen, und welche bei verschiedenen Distanzen immer mit derselben, nämlich der höchsten, Spannung der Accommodationskraft betrachtet werden müssen, dennoch in verschiedenen Fernen gleich gross scheinen können.

Man betrachte einen Fensterstab in einer Entfernung von 8 bis 10 Schritt gegen den unbewölkten Himmel und nähere sich dann einige Schritte, so wird man finden, dass man sich um ein nicht unbeträchtliches nähern kann, ohne das Object grösser zu empfinden. In diesem Falle hat das Auge schon in der grössern Entfernung alle seine Accommodationskraft aufgeboten, den Fensterstab deutlich zu sehen, es sind also die innern Veränderungen des Auges nicht im Stande, zum Gleichbleiben der Grösse des Netzhautbildes beizutragen.

Keine bis jetzt bekannte Theorie des Sehens kann leugnen, dass beim Nähertreten der Fensterstab ein grösseres Netzhautbild bedinge, als beim Ferntreten, und dennoch giebt die Empfindung über die Zunahme der Grösse keinen Aufschluss:

Der Grund der Täuschung dürfte theils darauf beruhen, dass wir verschiedene Grössen zwar bei gleichzeitiger Betrachtung mit grosser Schärfe, in der Zeit nacheinander aber nur mangelhaft, unterscheiden, theils darauf, dass

unsre Grössenempfindungen durch das Urtheil modifizirt werden, welches nur bei überwiegendem sinnlichen Eindruck Verschiedenheit der Grösse für dasselbe Object zugiebt.

Auch Young *) erzählt eine Beobachtung, welche, nach seiner Ansicht, Veränderungen in der Gestalt der Linse bestimmt nachweise. Er betrachtete eine leuchtende Erscheinung durch eine Metallplatte, in welcher geradlinige Schlitze nebeneinander angebracht waren. Die undurchsichtigen Zwischenräume des Instrumentes warfen geradlinige Schatten in's Auge und so schien die leuchtende Erscheinung bei unangestrengtem Auge durch gerade Schattenlinien in parallele Streifen getheilt. Wurde aber statt der Scheibe ein näherer Punkt fixirt, so wurden die geraden Schattenlinien zu Kurven, deren Beugung um so auffälliger war, je mehr sie vom Centrum der leuchtenden Erscheinung entfernt lagen. Nach Young ist die einzige mögliche Erklärung dieser Erscheinung die, dass der mittlere Theil der Linse sich stärker krümmt als die Ränder derselben. Ohne die Richtigkeit der Angabe leugnen zu wollen, bemerke ich, dass mir solche Krümmungen nicht merkbar werden.

Eine Beobachtung, die wenigstens mit einiger Wahrscheinlichkeit auf Gestaltveränderungen der Linse bezogen werden könnte ist, S. 169 Nr. 3 mitgetheilt worden. Als ich mein Auge mit Belladonna bestrichen hatte, und durch 2 Kartenlöcher eine Nadel betrachtete, so veränderte sich die Distanz der Doppelbilder mit jeder Bewegung der Karte. Die Doppelbilder verschoben sich auch in Bezug auf ihre gegenseitige Lage, das heist, es veränderten die horizontal nebeneinander liegenden Punkte bisweilen ihre wagerechte Richtung. Dass hier Veränderungen in den brechenden Mitteln vorgegangen waren, ist unverkennbar, aber

*) a. a. O. pag. 68.

freilich ist zweifelhaft, in welchem. Am meisten spricht die Natur der angegebenen Erscheinung für Gestaltveränderung der brechenden Medien, für Zunahme und Abnahme der Convexität, womit gleichzeitig die Brechung sich vermehrt oder vermindert. Ist man hiermit einverstanden, so scheint es weit natürlicher, den Grund jener unregelmässigen Lichtbrechung in Gestaltveränderung der Linse als der Hornhaut zu suchen.

Die Hypothese, dass die Linse durch selbstständige Veränderung ihrer Gestalt die Einrichtung des Auges bedinge, hat den negativen Vortheil weniger gegen sich, als irgend eine andre. In der That glaube ich, dass dieser Hypothese bis jetzt nur Mängel, nicht Widersprüche mit Thatsachen vorgeworfen worden sind, und über Mängel könnten weitere Beobachtungen hinwegführen. Allerdings sind Muskelfasern im Gewebe der Krystallinse nicht nachgewiesen, aber eben so wenig nachweisbar sind sie in gewissen vollkommen durchsichtigen Thieren. Die Bewegungen der Linse würden, wenn sie Statt fänden, sich durch eine gewisse Stätigkeit von den mehr zuckenden Bewegungen der Muskeln unterscheiden, allein von den Bewegungen der Iris, der Harnblase u. s. w. gilt dasselbe.

Kapitel XIX.

Ueber den Einfluss der Aufmerksamkeit.

Unter Aufmerksamkeit verstehe ich die Intension des geistigen Princips unmittelbar, nicht die zu Gunsten der Sinnesempfindungen von der Seele hervorgerufenen Veränderungen, in so weit diese sich noch empirisch nachweisen lassen. Wenn man im Kreuzungspunkte der Seh-

achsen einen Punkt deutlicher sieht als bei unpassender Augenstellung, so kann man dieses deutlichere Sehen nicht der Aufmerksamkeit zuschreiben, obschon sie bei der Regulierung der Augenrichtung nicht fehlen konnte. Die Aufmerksamkeit ist im Bereiche der Physiologie eine unbekannte Grösse, die man zwar nicht von sich weisen kann, die man aber erst zu Hülfe nehmen muss, wo man seine Unwissenheit bekennen will. Den Einfluss der Aufmerksamkeit auf eine Sinnesempfindung untersuchen, heist meines Erachtens nichts anders, als durch Subtraction aller bekannten Kräfte den Antheil von unbekannter Kraft aufsuchen, der zur Durchführung der Sinnesthätigkeit noch hinzukommen muss.

In Purkinje's vortrefflichen Betrachtungen, über direktes und indirektes Sehen, kommt in Bezug auf die Aufmerksamkeit eine Stelle vor, die durch das eben erörterte modifizirt werden dürfte. Er sagt: *) Man kann die Aufmerksamkeit in einzelnen Punkten oder Linien sammeln, oder im ganzen Gesichtsfelde zerstreuen. Beide Thätigkeiten des Sinnes stehen mit einander im Antagonismus. Je intensiver die Aufmerksamkeit bei direktem Sehen auf eine einzige Stelle conzentrirt wird, desto mehr verschwindet das übrige indirekte Gesichtsfeld dem Bewusstsein; starrt man hingegen in's Unbestimmte vor sich hinaus, so bemerkt man das Vielfache Aussereinander, aber desto weniger Klarheit hat der Punkt des direkten Sehens.

Der Zweifel, welcher sich mir aufdrängt, ist der, ob bei verschiedenen Graden des deutlich Sehens die Aufmerksamkeit, oder die Richtung der Augen und ihre Accommodation in Anspruch zu nehmen sei.

---

*) Beobachtungen und Versuche zur Physiol. der Sinne. Berlin 1825. S. 21.

Fixirt man mit beiden Augen einen Finger vor dem Hintergrunde einer gemusterten Tapete, einer entfernten Gegend u. s. w., so sieht man allerdings den Finger deutlich und die übrigen Objekte des Gesichtsfeldes undeutlich, allein in diesem Falle und in allen, wo mit Hülfe beider Augen experimentirt wird, erklärt sich das Phänomen bereits aus der Richtung der Augen. Denn da nur die wenigen im Horopter liegenden Gegenstände einfach, alle übrigen aber doppelt gesehen werden, so entstehen Doppelbilder, von denen jedes Auge das seinige dahin setzt, wohin das zweite Auge etwas anders setzt, es entstehen also sich deckende Doppelbilder, welche nothwendig undeutlich sein müssen.

Sollte diese Undeutlichkeit ohne Veränderung der Augenrichtung gehoben werden, so müsste die Seele fähig sein, von der Empfindung des einen Auges zu abstrahiren und sich dem Eindruck des zweiten vorzugsweise hinzugeben. Dass ein solches Abstrahiren von dem einen und Reflektiren auf den andern Eindruck möglich sei, beweist wenigstens die Erfahrung nicht, dass man von 2 Doppelbildern willkührlich das eine oder das andre deutlich sehen kann. Hier beruht die verschiedene Deutlichkeit des einen oder des andern Bildes ganz bestimmt auf veränderter Richtung der Augen. Diese Veränderung fühlt man selbst als willkührliche Bewegung und ein beistehender Beobachter sieht sie. Das eine oder das andre Auge fasst das Object mit dem Achsenpunkte, wobei das zweite Auge zwar der Bewegung des ersten mechanisch folgt, jedoch seine relative Stellung zu diesem nicht ändert, und folglich seine Stellung dem Object gegenüber um eben so viel verschlechtert, als das erstere Auge sie verbesserte. In dem einen Auge wird das Bild auf dem Sehachsenpunkte entworfen,

in dem andern neben diesem, darum erscheint es in jenem deutlich, in diesem undeutlich.

Wenn ich nur ein Auge zum Sehen benutze, so gelingt mir das nicht, was Purkinje die Aufmerksamkeit in einem Punkte sammeln, oder im ganzen Gesichtsfelde zerstreuen nennt. Wenigstens gelingt es höchst unvollkommen und lässt sich in den meisten Fällen auf mechanische Ursachen zurückführen. Wenn ich mit einem Auge einen Punkt fixirte, und dann einem andern zur Seite gelegenen Punkte méine Aufmerksamkeit zuwendete, so wurde dieser allerdings allmählig deutlicher, aber bei einigen Versuchen wenigstens war es unverkennbar, dass mittlerweile das Auge sich gedreht und dem zweiten Punkte in etwas zugewendet hatte.

Aber nicht blos die Richtung des Auges, sondern auch sein Accommodationszustand und die Grösse der Pupille haben Einfluss auf die Deutlichkeit des Betrachteten. Ich versuchte also jene Einwirkungen sämmtlich zu beseitigen, um zu finden, wie viel dann noch die Aufmerksamkeit vermöchte. Um keine Störung durch Bewegung des Auges zu veranlassen, betrachtete ich Gegenstände, die in gleicher Richtungslinie nicht neben, sondern hintereinander lagen. Den Einfluss der Pupillenbewegung beseitigte ich dadurch, dass ich durch ein kleines Kartenloch sah, welches kleiner war als meine Pupille im kontrahirten Zustande, so dass die Breite des einfallenden Lichtkegels in allen Experimenten dieselbe sein musste. Die hiermit bewirkte Verschmälerung des Lichtkegels begünstigte meine Kurzsichtigkeit in so weit, dass ich eine 8′ entfernte grobe Schrift noch lesen konnte. Wenn ich nun eine 24″ entfernte Nadelspitze fixirte, auf welcher ein Buchstabe der entfernteren Schrift genau aufsass, so wurde die Schrift

sogleich unlesbar, und ich musste gegen 4′ näher treten, wenn ich bei Fixation der Nadel die Schrift erkennen wollte. Diese Veränderung im Grade der Deutlichkeit hat also weder an der Richtung des Auges, noch an der Bewegung der Pupille, noch endlich an einem veränderten Accommodations-Zustande des Auges gelegen, da die grösste Weite, für welche sich mein Auge einrichten kann, nur etwa 16″ beträgt, demnach zum Behuf des deutlich Sehens die Nadel unter derselben Anspannung betrachtet werden musste, als die Schrift selbst.

Gleichwohl scheint es mir selbst in diesem Falle nicht ausgemacht, ob man das Recht hat, das deutlichere Erscheinen der Nähnadel oder der Schrift, je nachdem die eine oder die andre in Betracht gezogen wurde, als Folge der Aufmerksamkeit zu bezeichnen. Es findet sich nämlich, wenn man den Versuch so anstellt, wie ich beschrieben habe, dass das geschlossene (besser durch ein vorgestelltes Bret am Sehen behinderte) Auge sich hinter seiner Decke dem fixirten Gegenstande mit zuwendet. Geschieht dies nicht, so scheint mir alle Anspannung des Geistes in Bezug auf Verdeutlichung des Gegenstandes fruchtlos. Wendet sich das bedeckte Auge dem Gegenstande der Fixation in etwas zu, aber nicht vollständig, so entsteht grössere Deutlichkeit, aber nicht die vollkommenste. Letztere entsteht nur dann, wenn auch das verhüllte Auge seinen Achsenpunkt dem Objecte zuwendet. Sobald wir auf einen Gegenstand unsre Aufmerksamkeit richten, bringen wir ihn in den Kreuzungspunkt der Sehachsen, sobald wir ihm aber unsre Aufmerksamkeit entziehen, bewegen wir die Augen und bringen ihn aus dem Kreuzungspunkte.

Die Aufmerksamkeit ist also selbst in der Richtung

der Sehachse an die Bewegung der Augen gebunden, was zu beweisen scheint, dass zwischen deutlich Sehen, welches durch Aufmerksamkeit vermittelt wird, und Aufmerksamkeit selbst, noch ein zusammengesetzter organischer Prozess in der Mitte liegt. Obschon nämlich die Aufmerksamkeit nicht leicht von irgend einem Physiologen in der Art dynamisch gedacht werden wird, dass er sie jeder organischen Basis entbände, so wird es doch andrer Seits niemanden beikommen, die Augenmuskeln als materielle Grundlage der Aufmerksamkeit anzusprechen.

Kapitel XX.

Vervielfältigung der Gesichtsobjecte.

Jeder Kurzsichtige, so weit meine Erfahrung reicht, sieht entfernte Gegenstände doppelt, wenn nur das Object sich von dem Hintergrunde gehörig absetzt, und in Bezug auf Grösse sich in gewissen Grenzen hält. Am deutlichsten wird die Erscheinung bei Betrachtung der schmalen Mondsichel, oder einer Kerzenflamme bei Nacht.

Purkinje *), der diese Erscheinungen schon beschrieben hat, bemerkt ausdrücklich, dass eine solche Vervielfältigung der Bilder nur jenseits der Grenze des deutlichen Sehens vorkomme, während ein Object, in ungebührlicher Nähe betrachtet, sich nicht in mehrere Bilder zertheile, sondern nur in's Undeutliche ausbreite.

Was meine Augen anlangt, so ist dem bestimmt nicht so, vielmehr geschieht die Zertheilung in mehrere Bilder auch diesseits der Grenze des deutlichsten Sehens. Sehr

*) l. c. pag. 135 und folgende.

deutlich wird die Erscheinung, wenn ich mit dem Rücken gegen das Fenster gelehnt eine scharf beleuchtete Stecknadel betrachte, während ich in die Stube hineinstarre. In einer gewissen Entfernung erscheint die Nadel einfach, näher dem Auge gebracht, trennen sich die Ränder zu ein Paar besondern Bildern ab, deren Spitzen nicht so hoch stehn, als die des ersten Bildes; noch näher, zertheilen sich wieder diese Phantome, und ihre Spitzen zeigen sich wiederum etwas tiefer nach unten. Aehnliches findet Statt, wenn ich in finstrer Stube eine Kerzenflamme betrachte und rückwärts tretend mich allmählig entferne. Die Vervielfältigung geschieht im Verhältniss der zunehmenden Entfernung, bis endlich 4 Flammen neben einander stehen, welches die höchste Zahl ist, die ich mit Deutlichkeit wahrnehme. Indess sind die beiden mittlern Flammen nach oben und unten vorragend und wie es scheint in dieser Richtung doppelt, so dass eigentlich 6 Flammen vorhanden sind.

Ist die Pupille durch Belladonnaextract erweitert, so entsteht die Vervielfältigung der Objecte bereits in einer, dem Punkte des deutlichsten Sehens näheren, Stelle und die Zahl der Phantome steigert sich höher als gewöhnlich. Bei einem Versuch, wo meine Pupille den höchsten Grad der Ausdehnung erreicht hatte, sah ich wohl 20 Flammen. Ich zählte deren 4 in einer Reihe schief über einander, dagegen 7 bis 8 neben einander, wie überhaupt die Vervielfältigung in der Querrichtung des Auges bei mir beträchtlicher ist, als in der Höhenrichtung. Gerade das Umgekehrte fand P u r k i n j e in seinen Augen, denn wenn er eine weisse Linie auf schwarzem Grunde betrachtete, so zeigte sie in wagerechter Richtung weiter abstehende Phantome nach oben und unten als in senkrechter Richtung nach rechts und links.

Sehr beachtenswerth ist, dass die Zahl der Bilder sich oft während der Dauer der Betrachtung vermehrt. Dies finde ich beim Anschauen der Mondsichel. Bei flüchtigem, aber aufmerksamsten, Hinsehen erscheint mir das Mondviertel nur einfach, aber nicht scharf begrenzt und mit einem Hof umgeben. Bei längerem Anschauen bemerke ich erst 3, dann 4, endlich 7 Bilder. Jedes neue Bild taucht plötzlich im Bewusstsein auf und wie es mir vorkommt, jedesmal an der convexen Seite der Sichel. Wenn ich Kurzsichtige fragte, wie vielfach sie den Mond sähen, so antworteten sie anfangs einfach, dann doppelt, und je länger sie hinsahen, um so mehr Bilder fanden sich. Indess versicherte mich ein zuverlässiger Beobachter, dass er die Mondsichel vom ersten Moment an 8 fach sehe.

Die Vervielfältigung der Bilder wächst bei derselben Spannung des Auges nach Verhältniss der Entfernung des Objectes von dem Punkte des deutlichsten Sehens, und wiederum, bei sich gleichbleibender Entfernung des Objectes nach Maassgabe der Zweckwidrigkeit der Accommodation. Wenn ich nämlich eine Stecknadel innerhalb der Grenzen des deutlichsten Sehens betrachte, so kann ich willkührlich das Bild derselben verdoppeln, wenn ich mein Auge entweder für einen fernern oder für einen nähern Gegenstand einrichte. Dies wird sehr anschaulich in folgendem Versuche: Wenn ich eine Stecknadel mit beiden Augen in der Entfernung des deutlichsten Sehens fixirt habe, und dann die Augen allmählig auseinander gehen lasse, so entstehen Doppelbilder in Folge der Augenstellung. Sind die Doppelbilder nur durch einen kleinen Zwischenraum getrennt, so ist jedes Bild noch einfach, wird aber der Zwischenraum grösser, so zerfällt jedes in besondere Phantome, deren Zahl zunimmt mit dem Wachsen des Zwi-

schenraums. Wenn man Statt durch Fixiren eines zu Fernen, durch Fixiren eines zu Nahen Doppelsichtigkeit hervorruft, so ist das Zerfallen jedes Bildes in mehrere Phantome noch bemerklicher, ich sehe in letzterem Falle deutlich 4 Nadeln mit jedem Auge, während ich bei Accommodation für ein zu Fernes nur 3 erblicke.

Sieht man durch ein kleines Kartenloch, so scheint ein Licht in einer Entfernung einfach, wo es beim gewöhnlichen Sehen in mehrere Flammen zerfallen ist. In diesem Falle wird also die Verkleinerung des ins Auge fallenden Lichtkegels dem Zerfallen der Bilder hinderlich, wie umgekehrt die Erweiterung der Pupille durch Belladonna jenes Zerfallen begünstigte.

Betrachte ich eine entfernte Kerzenflamme durch buntes Glas, so sehe ich die vervielfältigten Bilder besonders deutlich, durch gelbes Glas minder als durch blaues und purpurfarbenes. Wahrscheinlich hängt dies mit Erweiterung der Pupille zusammen, welche durch die Mässigung des Lichtreizes hervorgerufen wird.

Alle Erscheinungen vereinigen sich zu beweisen, dass fehlerhafte Vervielfältigung der Gesichtsobjecte in Folge fehlerhafter Accommodation eintritt. Die Menge der Nebenbilder scheint in gleichem Maasse zuzunehmen, als die Grösse des Zerstreuungskreises. Denn nicht genug, dass jene Vervielfältigung um so auffallender wird, als fehlerhafte Accommodation grössere Zerstreuungskreise bedingt, so wird andrerseits die Zahl der Bilder verringert oder gar auf Einheit reduzirt, wenn man durch ein kleines Kartenloch sieht, und dadurch eben sowohl den Lichtkegel als den Zerstreuungskreis in seinem Durchmesser schmälert.

Eine genügende Erklärung der Erscheinung ist nach den bis jetzt bekannten Thatsachen noch nicht möglich.

Zwei Erklärungen sind denkbar. Entweder, eine eigenthümliche Bildung der brechenden Mittel erzeugt mehrere nebeneinanderstehende Bilder auf der Netzhaut, wie Purkinje annimmt, oder es entsteht, in Folge der Zerstreuungskreise, Statt eines Punktes ein Convolut von vielen, welches aus subjectiven Gründen in mehrere zerlegt wird.

Wenn statt eines leuchtenden Punktes eine leuchtende Scheibe oder, was dasselbe sagen will, eine Menge leuchtender Punkte in der Form einer Scheibe entstehen, so würde, nach der letzteren Ansicht, der Reiz eines Nervenpunktes die Reizbarkeit des benachbarten unterdrücken und diesen zu gezwungener Ruhe veranlassen. Erst ein etwas entlegnerer Punkt kann wieder selbstthätig auftreten, ein zweites Bild wird also sichtbar, und dieses zweite wirkt auf seine Umgebung wie das erste.

Diese Erklärungsweise umgeht zwar gewisse Schwierigkeiten, an welchen die andre leidet, verfällt aber, wie mich dünkt, selbst in noch grössere. Entständen bei Betrachtung eines zu fernen Lichtes, statt mehrerer Flammen, leuchtende Punkte auf dunklem Grunde, so würde die angegebene Theorie ungemein viel für sich haben. Wie aber der Gegensatz von Thätigkeit und Ruhe in der Netzhaut das Auftreten grösserer und deutlich gestalteter Bilder hervorrufen soll, ist schwerer zu begreifen. Auch müsste in einem solchen Falle ein Wechsel in der Stellung der Bilder anschaulich werden. Es würden nämlich die sehenden Stellen der Netzhaut nach einiger Zeit stumpf, die nicht sehenden aber thätig werden. Die Bilder würden also auf erstern verschwinden und auf den letztern zum Vorschein kommen.

Ich bin daher mehr geneigt zu glauben, dass die Vervielfältigung der Bilder einen physikalischen Grund hat,

ungeachtet allerdings schwer ist zu begreifen, warum dieser Grund nur unter gewissen Umständen sich geltend macht.

Für die letzte Annahme spricht ganz besonders folgende Beobachtung. Halte ich einen Bleistift sehr nah an's Auge, während dieses für einen entlegneren Gegenstand accommodirt ist, so erscheinen mehrere Bilder. Diese Bilder liegen theilweise in einander, und geben ein Gesammtbild von verschiedener Dunkelheit. Am dunkelsten, d. h. am farbigsten, sind die Stellen, wo alle 4 Bilder in einander liegen, am wenigsten farbig diejenigen, wo die vorragenden Ränder eines einzelnen Bildes bemerkbar sind. Umgekehrt ist es bei dem verdoppelten Mondbilde; die in einander liegenden Stellen sind hier die helleren. Diese Erscheinungen lassen sich schwerlich anders erklären, als dass die von mehreren Seiten her beschienenen Stellen der Netzhaut die mehrere Deutlichkeit gewähren.

Welches der verschiedenen Medien den Grund der Zerfällung des Bildes enthalte, ist schwerlich bestimmbar, aber so viel scheint ausgemacht, dass es ein beweglicher Theil sein müsse. Wir haben gesehen, dass bei gleichbleibender Entfernung eines Gegenstandes vom Auge, dieser sowohl einfach als in zerfällten Bildern gesehen werden könne, je nachdem man das Auge einrichtet. Diese Einrichtung könnte möglicher Weise auf den Bewegungen der Pupille beruhen, welche entweder, im Zustande der Ausdehnung, einem breiten Lichtkegel gestattete, durch verschiedenartig brechende Facetten und dergleichen durchzugehen, oder umgekehrt, im Zustande der Verengerung diesen auf einen einzigen, alles Licht in einem Punkte vereinigenden, Theil der Hornhaut, Linse u. s. w. beschränkte. Wäre dem so, so müsste die Zahl der

Bilder constant mit der Grösse der Pupille wachsen, was nicht der Fall ist. Wir fanden nämlich, dass gerade bei zu starker Bewegung der Augen die Vervielfältigung der Bilder am auffälligsten ist, während diese Stellung der Augen nach bekannten Erfahrungen Verkleinerung der Pupille mit sich bringt.

Wir bedürfen also ausser den Bewegungen der Pupille noch andrer, was, beiläufig bemerkt, eine neue Stütze für die Accommodationsbewegungen des Auges wird.

Die Beweglichkeit der Hornhaut ist nach oben angestellten Betrachtungen überhaupt sehr problematisch, und gewiss nicht so beträchtlich, um den Einfluss auf Zerfällung der Bilder zu erklären, der bei der Einrichtung des Auges auf Nahes und Fernes sichtlich ist. Dazu kommt, dass man die Verdoppelung der Objecte selbst dann wahrnimmt, wenn man durch ein Kartenloch von $\frac{1}{2}'''$ Duchmesser blickt. Es müssten also 1) in der Hornhaut die Facetten überaus nahe aneinander stehen, was zu verschiedenen Erscheinungen nicht passen will; 2) müssten die Bewegungen der Hornhaut ziemlich bedeutend sein, wenn eine Stelle von $\frac{1}{2}'''$ Durchmesser eine derartige Bewegung erfahren sollte, dass das, bisweilen sehr weite, Auseinandertreten der Bilder dadurch erklärt würde. Wenn Purkinje *) angiebt, dass Druck auf die Hornhaut sowohl Doppelbilder hervorbringe, als in andern Fällen das Zerfallene auf Einheit reduzire, so ist nicht wohl bestimmbar, ob der Druck in der Hornhaut oder in andern Theilen eine Modifikation der Brechungsverhältnisse hervorgerufen habe.

Reichten die vorstehenden Gründe (was ich nicht ge-

*) a. a. Orte 142.

rade behaupten will) hin zu beweisen, dass die Hornhaut mit der Vervielfältigung der Gesichtsobjecte nichts zu thun habe, so bliebe kaum etwas anderes übrig, als an die Linse zu denken, und wir würden hierin einen neuen Grund finden, Beweglichkeit derselben anzunehmen.

Im XIII. Kap. wurde die Theorie von Mile erwähnt, nach welchem diejenigen Lichtstrahlen, welche am Rande der Pupille hinstreifen, eine Beugung erleiden, in Folge welcher das Licht jedes leuchtenden Punktes nicht blos in einem, sondern in mehreren Brennpunkten vereinigt würde. Wenn diese Theorie für die Fälle des regelmässigen Sehens darum verworfen werden musste, weil mehrere Brennpunkte nothwendig mehrere Bilder hervorgebracht haben würden, so fragte es sich, ob nicht hier, wo mehrere Bilder vorhanden sind, jene Lehre vorzüglich passte. Indess scheint dem nicht so. Durch die Inflexion der Lichtstrahlen am Rande der Pupille würden, wie bei unvollkommner Accommodation, Zerstreuungskreise entstehen, das heisst, statt eines Bildes unzählige mehr oder weniger übereinander geschobene. Demnach würde sich die Schwierigkeit wiederholen zu begreifen, warum die Netzhaut aus unzähligen Bildern eben nur einige herausempfände.

Anhang.

I. Ueber den Bau der Netzhaut.

Die ersten Bogen dieses Werkchens waren leider schon gedruckt, als mir die neuen Untersuchungen von Treviranus *) über den Bau der Netzhaut zu Händen kamen, ein Umstand, den ich um so mehr beklage, als ich erst seit kurzem mich des Mikroskops bediene und fremde Untersuchungen gern benutze, um in zweifelhaften Erscheinungen mich leichter zurecht zu finden.

Nach Treviranus sind die Fasern der Netzhaut nicht varikös. Sie verbreiten sich, sobald sie in's Auge getreten, divergirend nach allen Seiten, biegen dann plötzlich, indem sie einen Winkel bilden, nach innen um, treten durch die Maschen eines zarten Gefässnetzes und bilden mit ihren Enden halbkugelförmige, oder einem umgekehrten Kegel gleichende Papillen. Bei manchen Thieren verbreiten sich die Zweige des Gefäss-Netzes strahlenförmig von der Eintrittsstelle des Sehnerven im Umfange der Netzhaut und sind nach dem Tode von weisser Farbe.

*) Beiträge zur Aufklärung der Erscheinungen und Gesetze des organischen Lebens. Bremen 1835. S. 63 u. folg.

Diese Zweige habe man bei Hasen, Kaninchen u. s. w. unrichtig für Markfasern der Netzhaut gehalten. Durch die Güte meines verehrten Freundes, Professor Weber's, wurde mir es möglich, diese Beschreibung mit Abbildungen des Herrn Professor Treviranus zu vergleichen, welche sehr sauber nach der Natur gezeichnet waren.

Ich habe in der letzten Zeit nicht Musse gefunden, mikroskopische Untersuchungen von einiger Ausdehnung vorzunehmen, doch habe ich das Auge des Kaninchens noch einmal zergliedert, um meine ersten Beobachtungen zu prüfen.

Schon früher hatte ich im Gesichtsnerven und der Netzhaut des Kaninchens gleichartige cylindrische Fasern gefunden (wie S. 5 angegeben), allein ihre relative Menge war mir nicht klar geworden. Durch Treviranus aufmerksamer gemacht, suchte ich vorzugsweise nach diesen Fasern und fand sie in solcher Menge, dass ich sie gegenwärtig als das vorherrschende Gebilde der Netzhaut betrachte.

An abgerissenen Rändern kleiner Stückchen Netzhaut sah ich glatte Fasern in der Richtung der Dicke verlaufen, also von aussen nach innen sich biegend, ganz so, wie Treviranus es beschrieben und abgezeichnet. Die Papillen, mit welchen diese Fasern nach innen endigen sollen, habe ich nicht erkannt, es müsste denn die innerste Schicht von Kügelchen, welche Ehrenberg für Blutkörperchen, ich aber für Nervenkügelchen genommen, die Papillenbildung sein, was nicht unwahrscheinlich ist. Möglich wäre auch, dass die *Tab. I, Fig.* 4 von mir abgebildeten Fasern, über deren Deutung ich im Ungewissen blieb, (s. S. 7) solche cylindrische Fasern, mit angeschwollenen, papillenartigen Enden darstellten.

Alle hier beschriebenen Erscheinungen hat Herr Professor Weber, welcher die Güte hatte, mit mir gemeinschaftlich zu arbeiten, gleichzeitig gesehen, er hat aber auch gesehen, dass ein variköses Gebilde da ist, mag man ihm eine Deutung geben, welche man will. Dieses Gebilde war nicht durch Druck hervorgebracht, denn wir betrachteten die Fasern nicht zwischen 2 Glasplatten, es war auch kein Erzeugniss des Wassers, denn wir benetzten die Nervenstückchen stets mit *humor aqueus*, und überdies sahen wir, neben den varikösen Gebilden, gleichzeitig die Fasern ohne Anschwellungen, wo also beide Gebilde, unter gleichen Einflüssen, gleiche Veränderungen würden erlitten haben.

Die varikösen Fasern, um vorläufig den Namen beizubehalten, zeigten sich vorzugsweise in den pinselförmigen Ausbreitungen des Sehnerven, sie waren, auch an den nicht angeschwollenen Stellen, ungefähr doppelt so stark, als die gleichartigen Fasern und lagen neben und zwischen diesen.

Was hier Nervenfaser und was nicht Nervenfaser ist, wage ich zur Zeit nicht mit Bestimmtheit auszusprechen, ist es aber gestattet sich an Wahrscheinlichkeitsgründe zu halten, so kann ich der von Treviranus aufgestellten Ansicht, als wären die pinselförmigen Ausbreitungen in der Netzhaut der Kaninchen und Hasen Gefässe, nicht beipflichten.

Tödtet man, wie ich immer gethan habe, die Thiere durch einen Schlag mit der flachen Hand in's Genick, so tritt keine Verblutung ein, und die *arteria centralis retinae* bleibt bis in die feinsten Verzweigungen voll Blut. Betrachtet man nun die frische Netzhaut, so erkennt man mit blossen Augen eine kleine Anzahl rother Gefässe, und

unter dem Mikroskop erkennt man sehr viele, an ihrem körnigen Inhalte. Dagegen findet sich in den glänzend weissen, pinselförmigen Ausbreitungen keine Andeutung von Blut. Diese Ausbreitungen bestehen aus geradlinigen parallellaufenden Streifen, während die Gefässe in Schlangenlinien, oft der Quere nach, über jene Streifen laufen. Unter dem Mikroskop zeigt es sich, dass jene weissen Bündel aus Fasern bestehen, die theilweise in gleicher Dicke verlaufen, theilweise variköse Anschwellungen zeigen. Die letztern allein für Gefässe zu nehmen, sehe ich keinen Grund, denn abgesehen davon, dass die Blutgefässe der Netzhaut mir nirgends Knoten zeigten, so fehlen auch den varikösen Fasern die, den feinern Gefässen so charakteristischen, Verzweigungen und Anastomosen. Was sind nun diese varikösen Fasern?

Durch die Untersuchungen von Treviranus wird es wahrscheinlich, dass die Nervenfasern sich mit vorstehenden Papillen an der innern Fläche der Netzhaut endigen. Diese Papillen sind um wenig, oder nichts, stärker als die Urfasern der Sehnerven selbst, und sind (wie ich aus der Handzeichnung ersehe) nicht durch freie Zwischenräume geschieden. Demnach bedarf eine gewisse Anzahl nebeneinander liegender Papillen einen ungefähr eben so grossen Raum, als die gleiche Anzahl neben einander liegender Urfasern, und umgekehrt kann der Sehnerv mit allen seinen Urfasern kein grösseres Stück der Netzhaut, als sein eigner Durchmesser beträgt, mit Papillen versorgen, wenn nicht die Urfasern sich spalten und dadurch zur Erzeugung mehrerer Papillen oder Nervenenden geschickt werden.

Wir halten die Aufklärung dieses Gegenstandes für eine der Hauptaufgaben der mikroskopischen Anatomie, da

die wichtigsten Lehren der Nervenphysik von dem hier zu findenden Resultate abhängen. —

II. Ueber die Grösse der kleinsten empfindbaren Netzhautbilder.

Die Seite 60 angestellten Untersuchungen über den Gegenstand, den wir hier nochmals in Anregung bringen, reichen nicht aus zu bestimmen, wie weit 2 Punkte von einander entfernt sein dürfen, wenn sie als 2 wahrgenommen werden sollen. Es ist nicht ausgemacht, dass 2 Netzhautbildchen als 2 erscheinen, wenn der Raum zwischen ihnen eben so gross ist, als der Diameter des kleinsten empfindbaren Netzhautbildchens. Nach neuern Untersuchungen scheint anzunehmen, dass der Reiz einer beleuchteten Netzhautstelle sich durch Irradiation über die Grenzen des Bildes hinausverbreite, und die benachbarten Nervenpunkte in die Empfindung mit hineinziehe. Demnach würden zwei getrennte Netzhautbilder, nach Maassgabe der Irradiation des Reizes, in eine Erscheinung zusammenfliessen können, selbst wenn die Distanz der Bilder unter sich beträchtlicher wäre, als der Durchmesser des kleinsten Bildes, welches in die Sinne fällt.

Ich nahm 2 Spinnenfaden in der Stärke von 0,00020″ und spannte sie parallel neben einander auf, in einer Distanz, welche unter dem Mikroskop als $\frac{1}{200}$ Zoll (0,0052″) befunden wurde. Die Entfernung, in welcher die beiden Faden als zwei empfunden werden konnten, war weit geringer, als sie hätte sein müssen, wenn die Distanz zwischen den Netzhautbildern eben so klein hätte ausfallen sollen,

als das kleinste empfindbare Netzhautbildchen. Ich habe mehrere Personen veranlasst zu beobachten, einerseits, wie weit sie einen einfachen Spinnefaden wahrzunehmen vermochten, andrerseits, wie weit sie jene 2 nebeneinander stehenden Fäden als zwei unterscheiden konnten. Für jeden Fall habe ich die kleinste wahrnehmbare Distanz der Netzhautbildchen berechnet, unter der Voraussetzung, dass diese Bildchen sich ohne Zerstreuungskreise darstellten. Das Ergebniss der Beobachtungen enthält folgende Tabelle.

I. Angabe der Personen.	II. Grenze des Erkennens von einem Spinnefaden.	III. Grenze des Unterscheidens obiger 2 Fäden.	IV. Kleinste wahrnehmbare Distanz der Netzhautbilder.
Ich selbst	21″	7″	0,00025″
B		11″	0,00016″
C	22″	3″	0,00014″
E		11″	0,00016″

Das Ergebniss vorstehender Versuche wurde durch andre Beobachtungen bestätigt. Auf eine kleine Thermometerkugel, von 0,15″ Durchmesser, liess ich die Flammenbilder zweier Lichter fallen, welche unter sich 4″, von der Kugel 8″ entfernt waren. Die Distanz der beiden Bildchen in der Kugel betrug nun 0,019″. Ich erkannte, mit Hülfe der Brille, vollständige Trennung der Bildchen im Glase bis auf $20\frac{1}{2}$″, und in der Mitte sich berührende aber deutlich doppelte Bildchen bis auf 26″. Im erstern

Falle betrug die Distanz der Netzhautbildchen 0,00032″, im letztern 0,00025″. Einer meiner Freunde (B. der vorstehenden Tabelle) hatte die Gefälligkeit, den Versuch zu wiederholen, und erkannte die Bildchen bis auf 37″ Entfernung doppelt, womit eine Distanz der Netzhautbildchen von 0,00018″ gegeben ist.

Vergleicht man die kleinsten wahrnehmbaren Distanzen zweier Netzhautbilder mit den kleinsten wahrnehmbaren Bildern selbst, wie wir diese im VII. Kap. berechnet haben, so findet sich ein enormer Unterschied. Jene Distanzen nämlich fallen ungleich grösser aus und übertreffen die kleinsten Bildchen in meinem Auge z. B. um das Hundertfache.

Der Grund dieser Erscheinung kann ein doppelter sein, nämlich entweder die erwähnte Fortpflanzung des Reizes, oder mangelhafte Vereinigung des Lichtes in einem *Focus*. Möglicher Weise können auch beide Umstände zusammenwirken.

Anlangend die Fortpflanzung des Reizes, von der unmittelbar berührten Stelle auf die Umgebung, so ist diese mit den Gesetzen des thierischen Organismus vollkommen im Einklang, und es wäre vielmehr auffällig, wenn im Bereich des Gesichtssinnes ein entsprechendes Verhältniss fehlte. Der helle Schein, welcher jeden glänzenden Punkt, ein Licht und dergleichen, einfasst, lässt sich nicht wohl auf andre Weise erklären, als dass rings um die beleuchtete Netzhautstelle sich ein Kreis vermehrter Nerventhätigkeit ausbilde, wie eine verwundete Hautstelle, durch die umgebende Röthe, eine vermehrte Gefässthätigkeit in den angrenzenden Theilen nachweist. Der practische Arzt hat am meisten Gelegenheit zu bemerken, dass nie im

Organismus ein gereizter Theil mit festen Grenzen auftritt, und wenn wir dieses Gesetz auf den Gesichtssinn übertragen und jedes Netzhautbildchen gleichsam mit einem Empfindungshof umgeben denken, so müssen 2 Netzhautbilder, wenn ich so sagen darf, mit ihren physiologischen Grenzen weit früher in einander fliessen, als mit ihren physikalischen.

Wäre in den oben erzählten Versuchen die Irradiation des Reizes der einzige Grund des Verschmelzens der beiden Spinnefaden zu einem gewesen, so würden die Durchmesser der Empfindungshöfe gleich den kleinsten, zur Wahrnehmung gelangenden, Distanzen der Netzhautbilder sein.

Indess ist möglich und sogar wahrscheinlich, dass Zerstreuung des Lichtes ein wesentlicher Grund ist, wesshalb die Netzhautbildchen verhältnissmässig so weit getrennt sein müssen, um in ihrer Duplicität empfunden zu werden. Es bedarf keiner Erläuterung, dass 2 aneinander grenzende Bildchen auf der Netzhaut in eines verschmelzen müssen, wenn die anfänglich scharfen und kleinen Bildchen durch verschlechterte Accommodation verbreitert werden *). In den oben beschriebenen Versuchen erkannte ich die Bildchen in der Thermometerkugel nur mit Hülfe der Brille in den angegebenen Entfernungen doppelt, und ich musste, um mit unbewaffnetem Auge die Duplicität vollständig zu erkennen, mich dem Glase bis auf 12″ nähern, in welchem Falle die Netzhautbildchen, ohne Licht-

---

*) In der That kann ich es durch die mir wohlbekannten Accommodationsanstrengungen willkührlich dahin bringen, dass die beiden Flammenbildchen in der Thermometerkugel in derselben Entfernung mir als 2 kleine oder als ein grosses Bild erscheinen.

zerstreuung 0,00056″ auseinander gelegen haben würden. Nun hat sich aber gefunden, dass mein Auge Netzhautbildchen von 0,00025″ Distanz noch als doppelt empfindet; und wenn diese Grösse von jenen 0,00056″ abgezogen wird, so bleiben 0,00031″ übrig; welche nicht auf Rechnung des Unvermögens Distanzen zu unterscheiden, sondern auf Verbreiterung, der Bilder durch Zerstreuungskreise gebracht werden müssen.

Wie nun in den angegebenen Fällen durch fehlerhafte Accommodation das Vermögen, kleine Distanzen zu erkennen, beeinträchtigt wird, so kann durch mangelhafte Vereinigung des Lichtes in einem *Focus* auch das best organisirte Auge im Unterscheiden zweier nahe liegenden Punkte, als zwei, gehindert werden. Wäre die Zerstreuung des Lichtes der einzige Grund des Verschmelzens der beiden Spinnenfaden und der beiden Flammenbildchen zu Einer Erscheinung gewesen, so würde der Durchmesser des kleinsten *Focus* gleichkommen den kleinsten zur Wahrnehmung gelangenden Distanzen der Netzhautbilder. Die ansehnliche Grösse der Brennpunkte (dann vielmehr Brennscheiben) steht mit der ausserordentlichen Kleinheit der kleinsten wahrnehmbaren Netzhautbilder, wie die Berechnung sie angab, nicht in Widerspruch. Allerdings würde, unter den angegebenen Voraussetzungen, der kleinste *Focus* für mein Auge 100 Mal grösser sein, als ohne Lichtzerstreuung das Bild des Spinnenfadens sein müsste, den ich auf 15″ Entfernung noch wahrnahm (S. 105); allein denkbar ist, dass ich den Faden nur darum erkannte, weil Lichtzerstreuung das Bildchen von der unermesslichen Kleinheit von 0,0000025″, welche es gehabt haben würde, bis auf 0,00025 vergrösserte.

Die Modifikazionen, welche mehrere von mir aufgestellte Behauptungen durch diese neuen Beobachtungen erleiden, werden sich dem aufmerksamen Leser von selbst ergeben, bemerkt werde nur, dass die Theorie des Herrn Professor Treviranus nun nicht füglich dem Einwurf unterliegt, dass der kleinste *Focus*, welchen eine geschichtete Linse gestattet, dem Bedürfniss des Auges nicht genüge.

Inhaltsverzeichniss.

Vorwort.

Seite.

Kap. I. Anatomische Notizen zum Bau des Sehnerven und der Netzhaut 1
Kap. II. Von der Sinnenthätigkeit im Allgemeinen 14
Kap. III. Ueber das Aussersichsetzen der Gesichtsobjecte und über das Wahrnehmen der Entfernung 17
Kap. IV. Untersuchungen über den Stand des Netzhautbildes 24
Kap. V. Von der Bewegung der Augen 34
Kap. VI. Vom Aufrechtsehen 40
Kap. VII. Vom Schätzen der Grösse 48
Kap. VIII. Ueber Scheiner's Versuch 64
Kap. IX. Von der Richtung des Sehens 71
Kap. X. Vom Einfachsehen mit zwei Augen 89
Kap. XI. Ueber das Accommodationsvermögen des Auges 105
Kap. XII. Ueber Deutlichsehen und Scharfsehen 118
Kap. XIII. Untersuchung des unmittelbaren Einflusses der Pupillenbewegung auf Accommodation des Auges 125
Kap. XIV. Von der Grösse der Zerstreuungskreise 132
Kap. XV. Von der Stellung der Augenachsen in ihrem Wechselverhältniss zum Accommodationsvermögen 144
Kap. XVI. Von dem mittelbaren Einfluss der Pupillenbewegung auf das Accommodationsvermögen 156
Kap. XVII. Ueber den Einfluss verschiedener Verhältnisse auf das Einrichtungsvermögen 161

Seite.
Kap. XVIII. Einige Bemerkungen über die Mittel, durch welche die Accommodation des Auges bewerkstelligt wird........ 157
Kap. XIX. Ueber den Einfluss der Aufmerksamkeit............ 184
Kap. XX. Ueber Vervielfältigung der Gesichtsobjecte........... 189
Anhang.. 197

Taf. I

Fig. 2.

Fig. 1.

Fig. 5.

Fig. 6.

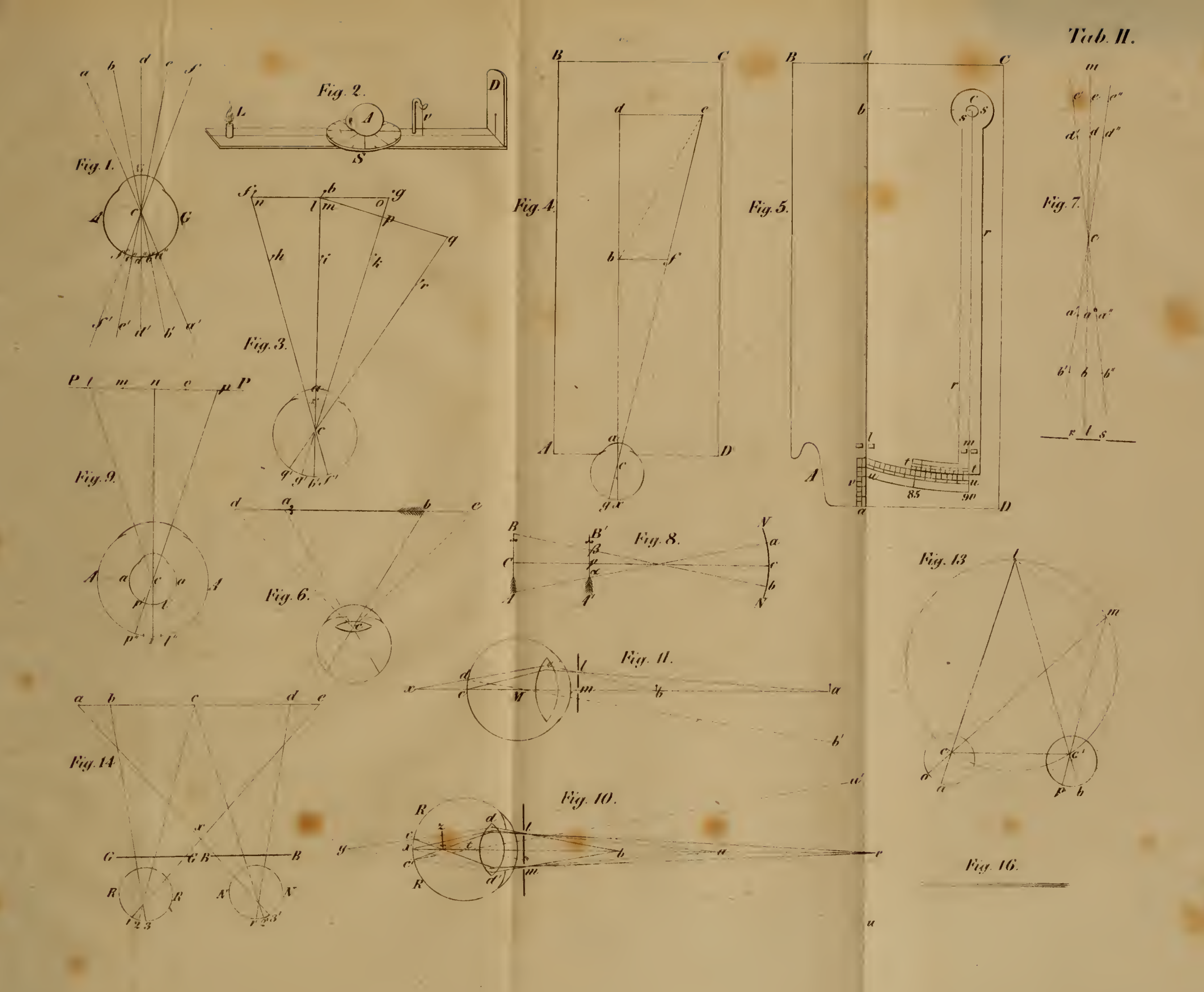
Fig. 3.

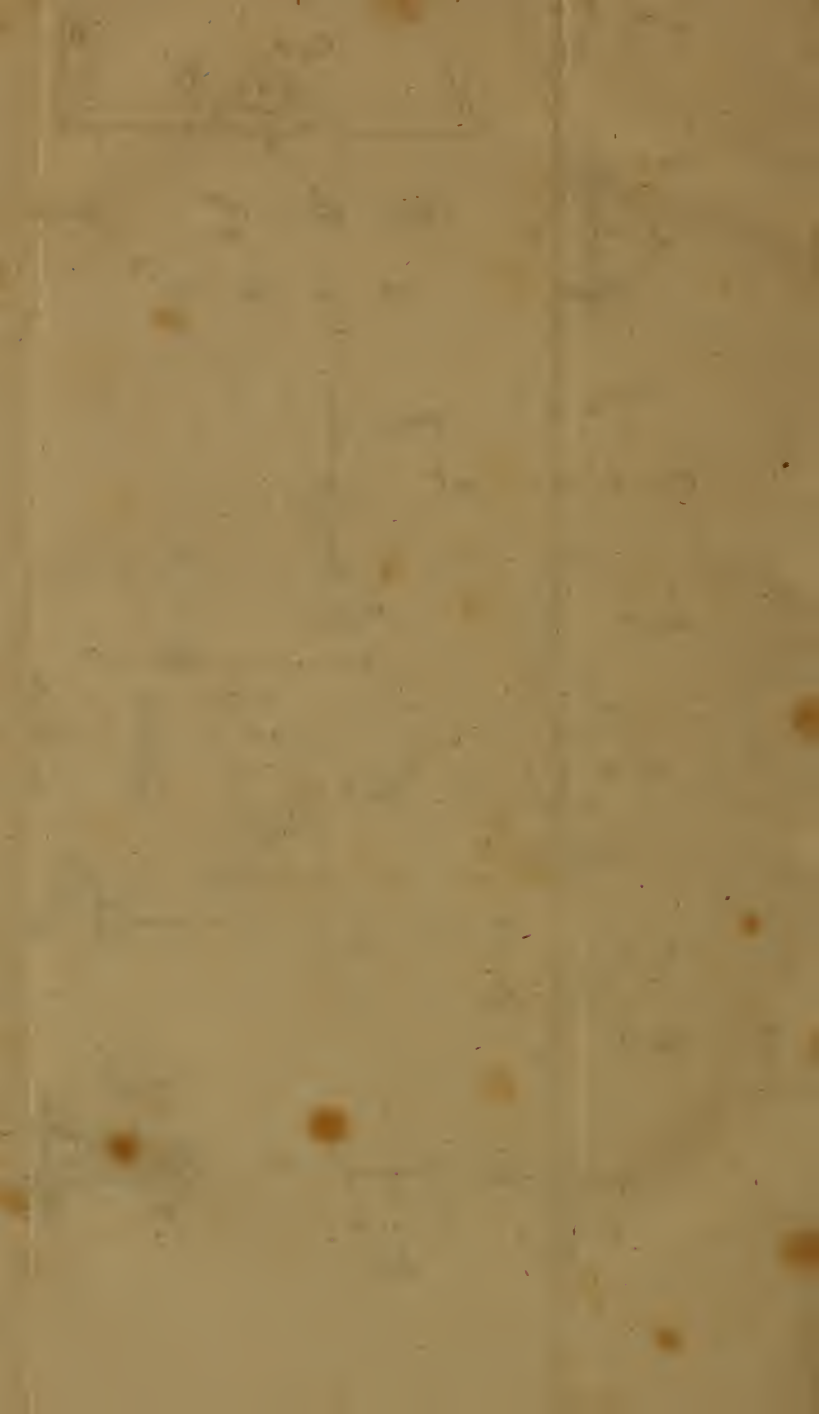
Fig. 4.

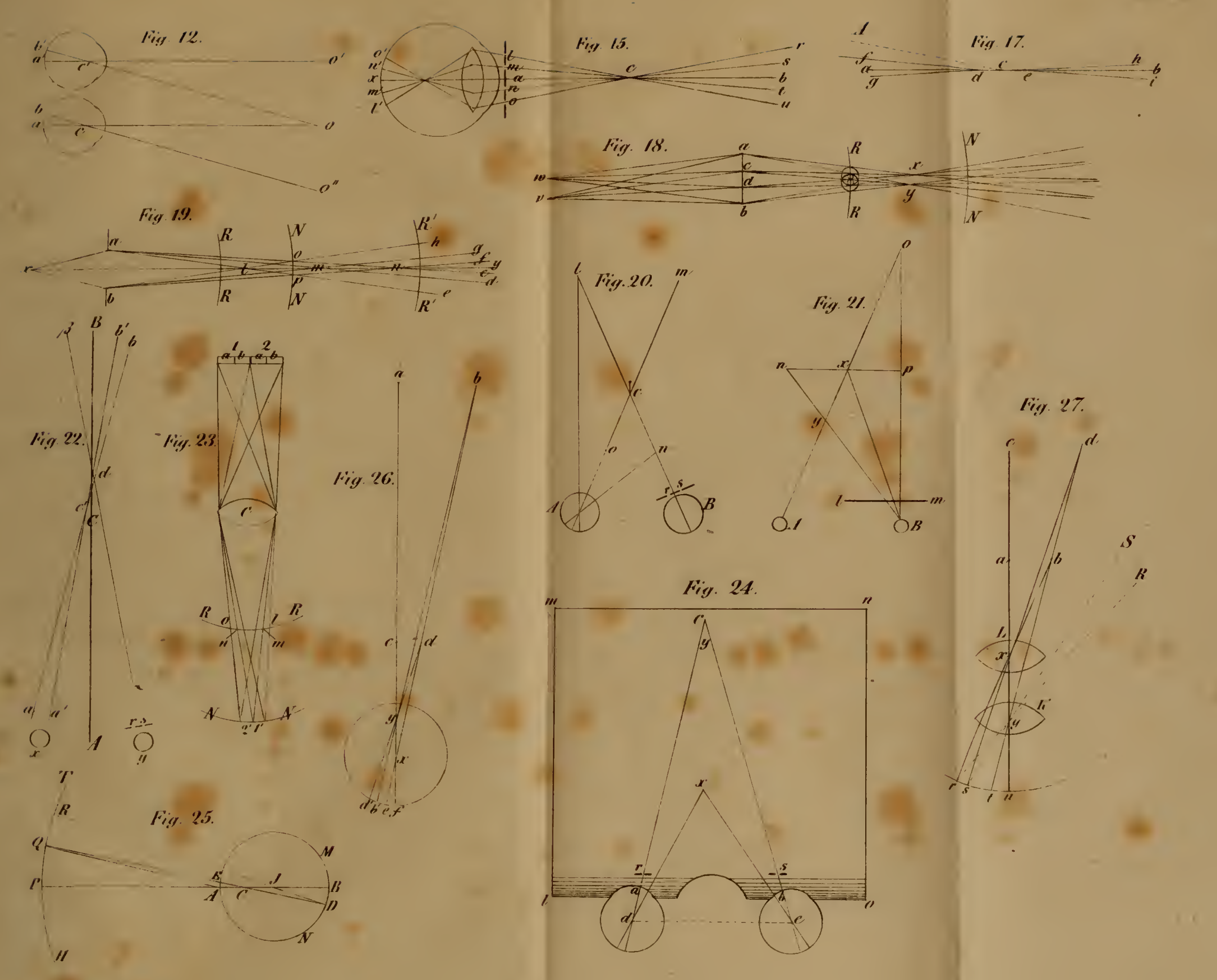
Auctor ad nat. del.

J. F. Schröter sc.




Tab. II.
Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 6.
Fig. 7.
Fig. 8.
Fig. 9.
Fig. 10.
Fig. 11.
Fig. 13
Fig. 14
Fig. 16.
85
90




Tab. III.
Fig. 12.
Fig. 15.
Fig. 17.
Fig. 18.
Fig. 19.
Fig. 20.
Fig. 21.
Fig. 22.
Fig. 23.
Fig. 24.
Fig. 25.
Fig. 26.
Fig. 27.



Neue Beiträge

zur

Physiologie

des

Gesichtssinnes

von

Dr. A. W. Volkmann,

ausserord. Professor in Leipzig.

Mit drei Kupfertafeln.

Leipzig,

bei Breitkopf und Härtel.

1836













